

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Technologická linka výroby směsi popelovin

Technological Line for Preparing a Mixture of Ashes

Student:

Bc. Zuzana Blatoňová

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zuzana Blatoňová**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem

Téma: **Technologická linka výroby směsi popelovin**
Technological Line for Preparing a Mixture of Ashes

Zásady pro vypracování:

Navrhněte ideový návrh technologické linky míchání popelovin a výrobu směsí pro ukládání na skládku. Vycházejte z prostorových možností haly a dopravních i bezpečnostních požadavků na linku.

1. Úvod – rešeršní část.
2. Teoretické východisko – problematika změn mechanicko-fyzikálních vlastností popelovin a komponent. Analýza a bilance odporových sil a prací u zvoleného principu dopravního zařízení.
3. Vypracujte ideový návrh technologické linky na míchání popelovin a výrobu směsí pro ukládání na skládku.
4. Proveďte konstrukční návrh dvouvřetenové míchačky s výkonem 60 t/hod.
5. Navrhněte vhodný typ pohonu (navrhněte pohon od společnosti SEW).
6. Nakreslete sestavu dvouvřetenové míchačky a výrobní výkres rotoru míchačky.
7. Technická zpráva.
8. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- Zegzulka, J.: Mechanika sypkých hmot, Laboratoř sypkých hmot, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004
- Jasaň, V.: Teória a stavba dopravníkov, TU Košice, Bratislava: Alfa Bratislava, 1984.
- Pešat, Z.: Manipulace v hutích. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1992.
- Fiala, J.: Strojnické tabulky. Praha: SNTL Praha, 1989.
- Firemní literatura a potřebné normy
- Metody měření a vyhodnocení měřených vzorků Laboratoře sypkých hmot, Ostrava: VŠB – TU OSTRAVA.
- Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2001.
- Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. Ostrava: Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003.
- Polák, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení III. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2005.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

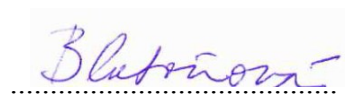


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studentky

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Blatná', written over a dotted line.

podpis studentky

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19. 5. 2014



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Zuzana Blatoňová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Slovenská 2884, 733 01 Karviná - Hranice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BLATOŇOVÁ, Z. *Technologická linka výroby směsi popelovin: Diplomová práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014, 69 s. Vedoucí práce: ZEGZULKA, J.

V mé diplomové práci jsem měla za úkol navrhnout technologickou linku na míchání popelovin a výrobu směsí pro ukládání na skládku. V první kapitole jsem se zaměřila na homogenizaci a solidifikaci surovin. Dále jsem se věnovala popisům materiálů a technologiím jejich zpracování. V praktické části diplomové práce jsem se věnovala výpočtům jednotlivých komponentů a volbě pohonné jednotky. U většiny komponentů jsem provedla pevnostní analýzu v programu ANSYS 14. Po navržení všech komponentů jsem vypracovala technickou dokumentaci.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

BLATOŇOVÁ, Z. *Technological Line for Preparing a Mixture of Ashes: Master Thesis.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Transport, 2014. 69 p. Thesis head: ZEGZULKA, J.

In my diploma thesis, I had to design technological link for mixing cinders and concoction production for dump storing. In the first chapter, I described homogenization and solidification of raw materials. Moreover, I described the materials and technologies of materials' processing. In the practical part of my diploma thesis, I focused on the calculations of individual components and the choice of propulsive unit. I performed a strength analysis with the majority of components in a program ANSYS 14. I worked out technical documentation after designing all components.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	9
ÚVOD.....	12
1. METODY MÍSENÍ.....	13
1.1 SOLIDIFIKACE	13
1.2 HOMOGENIZACE	15
1.3 MÍSENÍ.....	16
1.3.1 Druhy mísení.....	16
1.3.2 Rozdělení mísičů	17
2. POPIS JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK MÍSENÍ	18
2.1 ČISTÍRENSKÉ KALY	18
2.1.1 Odběr přebytečného kalu.....	18
2.1.2 Oddělování aktivovaného kalu.....	19
2.2 POPÍLEK.....	19
2.3 ŠKVÁRA	19
2.4 VÁPNO	20
2.5 BIOHMOTA.....	20
3. TECHNOLOGIE VHODNÉ PRO MÍSENÍ	22
3.1 ŠNEKOVÝ PODAVAČ.....	22
3.1.1 Nosná konstrukce podavačů	23
3.1.2 Posun materiálu.....	23
3.2 ŠNEKOVNICE.....	24
3.2.1 Plochá šnekovnice.....	24
3.2.2 Obvodová šnekovnice	24
3.2.3 Lopatková šnekovnice	25
3.2.4 Kuželová šnekovnice	25
3.2.5 Bezoosá spirálová šnekovnice	26
3.3 MÍCHACÍ ZAŘÍZENÍ.....	26
3.4 DRUHY MÍCHACÍCH ZAŘÍZENÍ	27
3.4.1 Míchačky šnekové	28
4. VÝBĚR VARIANTY ŘEŠENÍ.....	32

5. NÁVRH MÍCHACÍHO ZAŘÍZENÍ	34
5.1 KONTROLA POHONU	34
5.2 STANOVENÍ PODMÍNEK FUNKCE MÍSIČE	41
5.3 KONTROLNÍ VÝPOČTY NAVRŽENÝCH SOUČÁSTÍ.....	43
5.4 VÝPOČET ŽIVOTNOSTI LOŽISEK.....	45
5.4.1 Kontrola předních ložisek.....	45
5.4.2 Kontrola zadních ložisek.....	48
5.5 MKP VÝPOČTY	49
5.5.1 Kontrola lopatky.....	49
5.5.2 Kontrola lopatkové hřídele na ohyb	51
5.5.3 Pevnostní analýza podstavce míchačky.....	54
6. HLAVNÍ ČÁSTI MÍCHACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	57
6.1 HŘÍDEL MÍCHACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	57
6.2 LOPATKA	58
6.3 SKŘÍŇ MÍCHACÍHO ZAŘÍZENÍ	59
6.4 NÁSYPKA	60
6.5 POHON	61
6.6 RÁMOVÁ KONSTRUKCE POD MÍCHAČKOU	61
6.7 SESTAVENÍ MÍCHACÍ LINKY	62
ZÁVĚR	63
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
SEZNAM OBRÁZKŮ	67
PŘÍLOHY.....	69

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

b	šířka lopatek	[m]
c_H	součinitel naklonění pro snížení dopravního množství	[-]
C_o	radiální dynamická únosnost ložiska	[N]
D	vnější průměr kružnice opsané lopatkami	[m]
D_1	vnější průměr hřídele	[m]
d_1	vnitřní průměr hřídele	[m]
e	koeficient závislý na druhu ložiska	[-]
f	součinitel tření částice o lopatku i žlab	[-]
F	síla působící na částici ze strany mísené směsi	[N]
F_1	síla na jednu lopatku	[N]
F_a	axiální síla ložiska	[N]
F_N	normálová síla	[N]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
k_n	koeficient naplnění mísiče	[-]
k_p	součinitel přerušení šroubovice	[-]
k_r	odpor lopatek při mísení	[N.m]
k_v	součinitel vracení se směsi	[-]
l	délka míchačky	[m]
l_H	vzdálenost mezi ložisky	[m]
L_h	životnost ložiska	[hod]
m_c	celková hmotnost míchačky	[kg]
m_H	hmotnost hřídele	[kg]
M_{k1}	moment potřebný pro otáčení lopatek	[N.m]
M_{k2}	krouťící moment vyvolaný zvoleným motorem	[N.m]

M_{klo}	moment potřebný pro otáčení lopatky	[N.m]
m_m	hmotnost těla míchačky	[kg]
m_S	hmotnost materiálu ve žlabu	[kg]
n_2	otáčky na výstupu z převodovky	[ot.min ⁻¹]
P	výkon pro překonání odporu	[W]
p_1	počet lopatek na hřídeli	[-]
P_c	celkový potřebný výkon	[W]
P_{ck}	výkon pro kontinuální provoz	[W]
P_{min}	výkon z hmotnostního průtoku	[W]
Q	požadovaný dopravní výkon	[t.hod ⁻¹]
Q_m	hmotnostní dopravní výkon	[t.hod ⁻¹]
q_m	spojité zatížení od hmotnosti hřídele	[N]
Q_{vm}	objemový dopravní výkon	[m ³ .hod ⁻¹]
R	poloměr kružnice opsané lopatkami	[m]
r_1	ramena momentu při namáhání lopatky	[m]
r_2	ramena momentu při namáhání lopatky	[m]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_i	reakce pod ložisky	[N]
s	stoupání šnekovnice	[m]
S_1	zjednodušená plocha lopatky	[m ²]
S_m	plocha toku materiálu	[m ²]
V	rotační součinitel	[-]
v_{os}	osová rychlost	[m.s ⁻¹]
V_S	objem materiálu ve žlabu	[m ³]
v_t	tečná rychlost	[m.s ⁻¹]
w	globální součinitel odporu	[-]

W_k	modul průřezu v krutu plochy	$[m^4]$
X	součinitel dynamického radiálního zatížení ložiska	$[-]$
Y	součinitel dynamického axiálního zatížení ložiska	$[-]$
z	počet lopatek na jeden závit šnekovnice	$[-]$
α	úhel nastavení lopatek	$[^\circ]$
α_z	úhel zachycení	$[^\circ]$
β	úhel stoupání šnekovnice	$[^\circ]$
δ	úhel naklonění lopatky ke šroubové ploše	$[^\circ]$
ρ_k	hustota kalu	$[kg.m^{-3}]$
ρ_s	střední hustota směsi	$[kg.m^{-3}]$
ρ_v	hustota vápna	$[kg.m^{-3}]$
τ	smykové napětí	$[MPa]$
φ	úhel tření mezi zrnem a žlabem	$[^\circ]$
ψ	součinitel objemového plnění	$[-]$

ÚVOD

V dnešní době je kladen velký důraz na ekologii. Většina velkých společností a firem se snaží chovat ekologicky, a proto se snaží, aby při výrobě a zpracování nevznikalo mnoho odpadu. K tomu jim pomáhají stále novější a dostupnější technologie a suroviny. Při návrhu zařízení, je potřeba brát zřetel na přírodu a navrhnout vše tak, abychom ji co nejméně zatěžovali. Hlavním cílem mé diplomové práce je návrh míchacího zařízení pro čtyři hlavní oblasti využití.

Diplomová práce je rozdělena na dvě stěžejní části a to teoretickou a praktickou. Teoretická část práce zahrnuje kapitoly, v nichž je pozornost věnována především metodám mísení. U metod mísení se zaměřuji na popis procesů solidifikace, homogenizace a samotného mísení. Následující kapitoly jsou věnovány popisu složek mísení. Následuje kapitola, která plynule navazuje na technologie mísení a k tomu uzpůsobená zařízení, čímž je uzavřena teoretická část mé diplomové práce.

V praktické části řeším návrh a výpočet částí míchacího zařízení dle zadaných parametrů. Následují kapitoly, které zahrnují návrh, výpočet a verifikaci mísicího zařízení.

Všechny navržené části zařízení jsou na základě výpočtu následně zkontrolovány pomocí metody konečných prvků v programu ANSYS 14, čímž potvrzuji praktické využití celého zařízení.

1. METODY MÍSENÍ

Při návrhu míchacího zařízení, které je předmětem mé diplomové práce, je nedílnou součástí dostatečně se seznámit s jednotlivými principy jeho práce. Detailnějšímu popisu jednotlivých principů se budu věnovat v dalším textu této kapitoly. Mezi principy řadíme solidifikaci, homogenizaci a mísení.

1.1 Solidifikace

Princip solidifikace spočívá ve smíchávání jednotlivých odpadů s vhodnými pojivy a plnivy. Vše musí být upraveno takovým způsobem, aby vyhovovalo námi požadovaným fyzikálním a chemickým vlastnostem. Hlavním úkolem solidifikace je změnit vlastnosti odpadu, aby splňovaly požadavky pro uložení na skládky. Úprava odpadů se uskutečňuje dle inženýrsko - technologických postupů, které vypracovává nezávislé odborně způsobilé pracoviště [18].

Solidifikace se provádí v následujících případech:

- odpad nesplňuje podmínky k uskladnění na danou skládku ve spojitosti k třídě vychovatelnosti,
- odpad je kapalný nebo sedimentací dochází k uvolnění kapalně fáze,
- chemické složení odpadu může nepříznivě ovlivnit kvalitu průsakových vod,
- odpad je prašný nebo velmi silně zapáchá, může dojít k překročení stanovených emisních limitů,
- uložení odpadu na skládku bez jakékoli úpravy by došlo k nežádoucí reakci, kdy by odpady zapracované do aktivní vrstvy reagovaly s nově dovezenými.

Při solidifikaci je důležité použití pojiv a plniv, které zneutralizují nebezpečný odpad, aby se mohl dále ukládat a skládkovat, proto se Vás pokusím s tímto problémem seznámit.

Použití pojiv a plniv

Jedná se o materiály, které musí mít schopnost vázat upravovaný odpad do pevných matic, aby kontaminanty byly fixovány. Tímto se zabrání přecházení do dalších složek životního prostředí. Jako pojiva se používají tyto materiály: vápenný hydrát, hydraulické

vápno, popílek a cement. Plniva mohou být některé druhy odpadů: energetický popílek, struska, škvára, zemina a v neposlední řadě také odpadní celulóza [18].



Obr. 1.1 Zařízení pro solidifikaci materiálu [18]

Průběh solidifikace

- Předání materiálu, kontrola evidence, vážení.
- Vyložení na izolované ploše a postupné přimíchávání pojiv a plniv, případně speciální vody, vše musí být v poměrech a dle norem.
- Směs je důkladně promíchána. V mém případě míchacím zařízením k tomu navrženým. Vše je mícháno tak dlouho, dokud nedosáhneme dostatečné homogenity.
- Následná reakční směs se uloží na určené místo na skládce. Zde poté probíhá tzv. zrání odpadu.

Výsledné produkty solidifikace (odpady včetně pojiv, plniv) jsou dle svých vlastností zařazovány do kategorií. Kategorie se určuje podle odpadů, které budou upravovány. Po zařazení do kategorie se vydává osvědčení o vyloučení nebezpečných vlastností. Vše je pečlivě dokumentováno a evidováno [18].

Spolu se solidifikací je velmi důležitou oblastí homogenizace, tento proces je velmi často využíván při promíchávání jednotlivých látek, ze kterých následně vzniká směs. Homogenizace je využívána v mnoha odvětvích průmyslu včetně potravinářského a chemického.

1.2 Homogenizace

Homogenizaci obecně můžeme nazvat procesem, při němž díky promíchávání stejnorodé látky dojde ke vzniku směsi. Homogenizace je nejčastěji dosahováno pomocí mechanického stlačování s nízkou spotřebou energie [1]. U kalů dochází k homogenizaci tak, že kalové vločky jsou postupně rozrušeny, čím je viskozita kalu redukována a anaerobní rozklad je poté urychlen. Rozkladu můžeme dosáhnout mechanickým, tepelným nebo akustickým účinkem. Při vstupu velké energie jsou buňky rozrušeny a jejich obsah je uvolňován. U některých organických látek dochází k hydrolyzování. U obou případů jak u rozpadu, tak u homogenizace může dojít k zvýšení výroby elektřiny o 2 – 4 násobek příkonu. Tato souvislost bývá omezena navyšujícím se příkonem. Oba procesy dosahují největší efektivity při slabém vyhnívání, kdy dochází k poškození a narušení vláknité bakterie s redukcí tvorby pěny. Při rozpadu logicky dojde k přeměně materiálu na daleko menší částice, čímž se omezí účinnost odvodnění, ale ne proces homogenizace [2]. Anaerobní degradaci kalu může urychlit jeho předchozí homogenizace nebo rozklad.



Obrázek 1.2 Homogenizace [19]

Anaerobní technologie v současnosti

Anaerobní, neboli rozkladné procesy se nejčastěji využívají ke zpracování odpadních vod, ale mohou být použity také ke zpracování nerozpustného znečištění. Jedná se o procesy biologické, probíhající za nepřístupu vzduchu. V současné době se anaerobní technologie využívají díky ekonomickému profitu a produkci bioplynu. Energetický bioplyn využíváme mnoha způsoby, například na výrobu tepla v teplovodních kotlích, kombinovaně výrobou elektřiny a tepla v kogeneračních jednotkách, můžeme jej též využít pro pohon dopravní techniky a automobilů [3].

Aerobní technologie v současnosti

Největší zastoupení aerobních technologií v současnosti bývá u biologického čištění odpadních vod. V aerobní biologii dochází ke styku odpadní voda s mikroorganismy tedy (aktivovaným kalem) a vzdušným kyslíkem. Aktivovaný kal má za úkol přeměňovat organické sloučeniny v surové vodě na kysličník uhličitý, dále pak na vodu a čpavek. Dalším zpracováním dostaneme dusičnany. Vzniklý kysličník uhličitý je uvolňován dál do atmosféry odvětrávací částí systému. Organické sloučeniny se mění na mikroorganismy. Ty jsou používány v systému čištění jako vratný aktivovaný kal. Přebytek všech mikroorganismů ze systému je odváděn v podobě přebytečného kalu. Tradiční systém aerobního zpracování bývá uspořádán tak, aby vše probíhalo kontinuálně. Vše probíhá v několika nádržích nebo kontinuálně v jedné nádrži [3].

1.3 Mísení

Následující podkapitola je věnována další funkci navrženého zařízení a tou je mísení. Mísení je základní a intenzivní promíchávání jednotlivých materiálů a částic. Hlavní účely mísení jsou:

- dokonalé a rovnoměrné mísení dvou či více materiálů a částic,
- zajištění optimálního povrchu u reagujících částic,
- fyzikální změny ve strukturách materiálů,
- urychlování chemických reakcí,
- získání požadovaných látek [20].

1.3.1 Druhy mísení

Vlastnosti a skupenství surovin mohou poukázat na to, jakým druhem mísiče dojde k jejich promísení. Díky tomu rozeznáváme tři základní skupiny:

- *Mísení zrnitých až práškovitých partikulárních hmot.* Dochází k němu jen za sucha, nebo se domísení přidává voda, či tekuté látky. Konečná fáze mísení probíhá ve zvlhčeném stavu.
- *Mísení plastických materiálů.* Dochází k němu ve většině případů ve vlhkém stavu. Jsou ovšem případy, kdy je mísená hmota dovlhčována na požadovanou vlhkost. Propařování a odvlhčování způsobuje lepší plastičnost pro další tváření.
- *Mísení tekutých materiálů.* Mísení probíhá za přebytku vody. Nejmenší částice partikulárních hmot jsou ve vodě rozptýlovány a tím vytváří surovinový kal [20].

1.3.2 Rozdělení mísičů

Podle způsobu práce se mísiče dělí na:

- s přerušovaným pracovním cyklem (mísiče periodické).
- s nepřerušovaným pracovním cyklem (mísiče kontinuální).

Dle skupenství a vlastností zpracovaných hmot:

- mísiče pro sypké a práškovité hmoty,
- mísiče keramických a plastických hmot,
- míchače pro tekuté suspenze [20].

Dle provedení a druhu:

- mísiče kolové,
- mísiče protiproudé (rychlomísiče),
- mísiče korytové dvouhřídelové,
- mísiče protlačovací,
- míchače a rozplavovače vrtulové,
- míchače hrabicové,
- míchače speciální [20].

Kvalita mísení

Mísení je důležité pro kvalitu výsledné směsi. Na výsledek mají vliv tyto činitele:

- velikost mísiče – čím větší délka mísiče při nezměněných rozměrech, tím vyšší kvalita mísení,
- počet lopatek a jejich konečný sklon – často jsou použity čtyři lopatky na jedno stoupání, které mají nastavitelný sklon. Sklon se pohybuje v rozmezí 5° - 35° . S větším sklonem lopatek dochází k vzrůstu stoupání, a také roste výkonnost. To ovšem snižuje kvalitu mísení [20],
- frekvence otáčení u jednotlivých hřídelů - pokud je frekvence otáčení vysoká, prochází materiál mísičem rychleji, ale kvalita míseného materiálu je horší. Rozmezí otáček se pohybuje od 20 do 35 za minutu. Obvodová rychlost se pohybuje okolo $0,5 - 1,2 \text{ m.s}^{-1}$,
- výstup z mísiče - neovlivňuje proces mísení, ale výslednou jakost [20].

2. POPIS JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK MÍSENÍ

V rámci kapitoly, která je věnována popisu jednotlivých složek mísení se zaměřuji především na materiály, které jsou určeny k solidifikaci, homogenizace a mísení. Každé z uvedených složek je zde věnován detailnější rozbor.

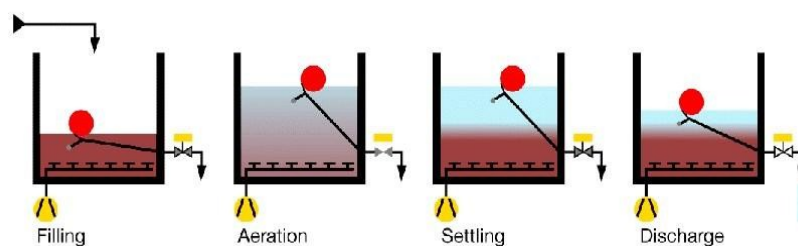
2.1 Čistírenské kaly

Jsou to složité heterogenní suspenze anorganických a organických látek, které získáváme z odpadních vod, nebo při technologických procesech. Jednou z důležitých vlastností kalů je jejich konzistence, která úzce souvisí s koncentrací všech tuhých složek v kapalině. Ta se dá vyjádřit jako obsah sušiny v kalu. Kaly z městských čističek vod obsahují asi 0,5 až 7 % sušiny, jež se skládá z 60 až 70 % organických látek a 30 až 40 % látek anorganických. U tuhé fáze kalu se setkáváme přibližně s 80 % suspendovaných částic, které mají velikost nad 0,1 milimetrů a jen 20 % částic s velikostí pod 0,1 milimetrů [2].

Kaly jsou nebezpečné odpadní látky, a proto s nimi musíme i tímto způsobem zacházet.

2.1.1 Odběr přebytečného kalu

Zde je důležitá kontrola, aby bylo kalové zatížení provzdušňované nádrže pokaždé dostačující. Provádíme jej pomocí stanovování sušiny v aktivované směsi. Množství sušiny, při maximálním objemu, musí odpovídat hodnotám, jež jsou dána technologií. Pokud dojde k situaci, že skutečně naměřená hodnota překoná určitou hranici, je potřeba odtáhnout přebytekové množství aktivovaného kalu. Odpuštění u takto přebytečného kalu se provádí ve všech fázích cyklu: během usazování, odpouštění, provzdušňování nebo míchání [2].



Obr. 2.1 Odběr přebytečného kalu [3]

2.1.2 Oddělování aktivovaného kalu

Oddělování aktivovaného kalu bývá poslední fází. S tímto biologickým čištěním se setkáváme u odpadních nebo jinak znečištěných vod. Je to fáze, při které se z aktivované směsi oddělují, jak vyčištěná voda, tak aktivovaný kal. Část tohoto kalu se po oddělení vrací zpět do biologického stupně procesu, nadbytek odchází pryč jako přebytečný kal [3].

Nyní se zaměřím na popis jednotlivých složek mísení, mezi které patří popílek, škvára, biohmota, kaly a vápno.

2.2 Popílek

Popílek je partikulární tuhá fáze, jehož střední velikost zrn se pohybuje v rozmezí 10 až 30 μm . Sypná hmotnost je 800 až 1200 kg.m^{-3} . Získáváme jej elektrostatickým nebo mechanickým odlučováním pomocí prachových částic ze spalin. Tyto částice vznikají spalováním velmi jemného mletého černého, nebo hnědého uhlí. Důležité jsou zde zejména fyzikálně mechanické a analytické metody pro posuzování fázového složení, která jsou nutná pro jeho následnou kvantifikaci do jednotlivých chemických složek. Pro aplikaci popílku, je vhodné znát velikost částic a zastoupení všech frakcí, dále pak měrnou hmotnost a měrný povrch. Využití popílku je ve stavebnictví při výrobě stavebních a rychle tvrdnoucích hmot, přípravě betonů, cementů, umělých kameniv a malt [11] [12].



Obr. 2.2 Popílek [12]

2.3 Škvára

Je pórovitá nebo struskovitá hmota. Vzniká při spalování koksu nebo uhlí slinutím popela. Používá se ve stavebním průmyslu k výrobě betonů, tvárnic a násypů [13].



Obr. 2.3 Škvára [23]

2.4 Vápno

Technickým názvem oxid vápenatý. Je to bílá, pevná, krystalická látka. Výroba vápna z přírodního vápence se provádí tepelným zpracováním uhličitanu vápenatého. Nejčastěji se používá ve stavebnictví, papírenském průmyslu a lesnictví [14].



Obrázek č. 2.4 Vápno [24]



Obrázek č. 2.5 Biohmota [25]

2.5 Biohmota

Biohmotu definujeme jako hmotu rostlinného, organického nebo živočišného původu. Energii z biohmoty řadíme mezi obnovitelné zdroje.

Způsoby získávání energie z biohmoty [10]:

- biochemickou přeměnou,
- termochemickou přeměnou,
- fyzikálně – chemickou přeměnou, tedy esterifikací olejů.

Biohmotu z hlediska původu dělíme:

- rostlinou biomasu (a to dendromasu, fytomasu, živočišnou biomasu),
- komunální a průmyslové odpady,
- lesní biomasu,
- biologicky rozložitelné průmyslové komunální odpady [10].

3. TECHNOLOGIE VHODNÉ PRO MÍSENÍ

K technologii mísení se používají různá zařízení, kterým je věnována následující kapitola. Kapitola je dále rozčleněna do podkapitol, které popisují jednotlivá zařízení sloužící k přepravě materiálů.

3.1 Šnekový podavač

Zařízení sloužící k přepravě sypkých a nelepivých materiálů jako jsou granulová krmiva, šrot, plastová drť, uhelný prášek, pilin a cement. Doprava na kratší vzdálenosti pro malá a střední dopravovaná množství u vodorovných, úklonných tratí. Podle typu své konstrukce se používají k vyskladňování a plnění zásobníků, sil a vyprazdňování valníků. Podavače také slouží jako součást technologických linek. Pracovním prvkem tohoto zařízení je rotující šnek v pevném žlabu, díky němu dochází k posunu materiálu z plnicího do výsypaného otvoru, jež je umístěn ve dně žlabu [21].

Šnekové podavače dělíme dle těchto kritérií na stoupání šneku, sklon tratě a provedení šneku. Na následujícím snímku jsou vyobrazeny některé druhy šnekových dopravníků.



Obr. 3.1 Druhy šnekových dopravníků [21]

3.1.1 Nosná konstrukce podavačů

Celá nosná konstrukce podavačů je tvořena žlabem. Převážované materiály jsou rozmanité a jejich způsoby dopravy také, proto dělíme žlaby do těchto skupin:

- U, V žlaby,
- vícenásobné žlaby,
- trubkové žlaby.

U, V žlaby můžeme definovat jako svařenec z plechu, kde je horní část opatřena přírubou. Pomocí příruby se zařízení připevňuje ke spodní části zásobníku. K výrobě nosné konstrukce používáme nejčastěji ocel třídy 11, pokud přepravujeme agresivnější a silně abrazivní materiály, jako jsou kaly, použijeme otěruvzdorný materiál, nebo nerez ocel. K prodloužení životnosti u žlabů používáme krycí nátěry. Tyto nátěry zabraňují působení vnějších vlivů, jakými jsou například voda a prach. Široké uplatnění mají nyní trubkové žlaby. U nich je na trubku navařen otvor pro násyp a pak dále výsyp materiálu [21].

3.1.2 Posun materiálu

Posun materiálu ve žlabu je zajišťován šnekem, který se otáčí v pevném žlabu a je uložen v několika ložiscích. Materiál se přemisťuje ve směru osy žlabu, stejně jako posuvná matice pohybového šroubu. Základ tohoto pohybu spočívá ve tření materiálu o šnekovou skříň. Toto tření musí být větší, než tření materiálu o povrch šneku. Musíme tedy zajistit, aby nedocházelo k zaplnění celého průřezu žlabu dopravovaným materiálem, neboť se přepravovaný materiál může nahromadit a vzniknout takzvaná zátka. Pro správnou funkci šnekových podavačů je nutné nedokonalé využití průřezu žlabu. Při tření materiálu o šnek jednotlivé části konají dva pohyby. Základní přímočarý pohyb rovnoběžně s osou šneku a pohyb ve směru obvodu šneku. Výsledkem je nepřímý pohyb, při kterém dochází k vzájemnému promíchávání částic materiálu mezi sebou. Mezi základní prvky tvořící účinnou část šneku řadíme šnekovnice. Šnekovnice dělíme na [21]:

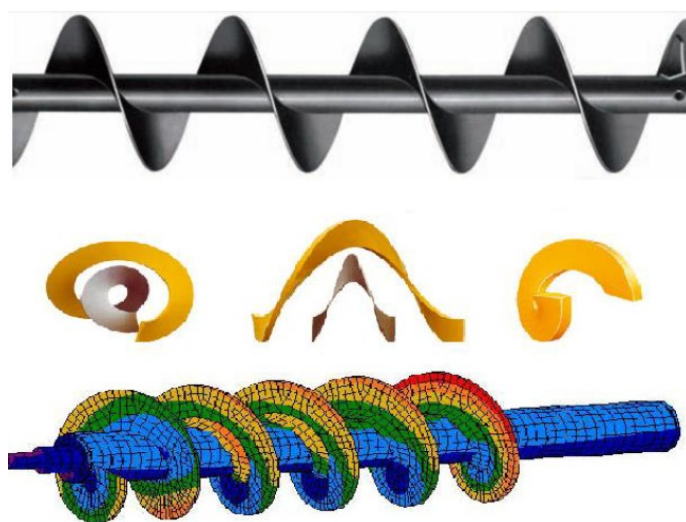
- kombinované,
- přerušované,
- obvodové
- lopatkové,
- kuželové,
- plné.

3.2 Šnekovnice

Šnekovnice se používá k dopravě práškových a zrnitých zahuštěných materiálů. Šnekovnice se často vyrábějí v průměru od 80 do 400 mm. Výroba je plně automatizovaná na válcovacích strojích. Lisování za studena zaručuje vysokou přesnost požadovaných rozměrů a také dokonalou přesnost finálních produktů. Šnekovnice jsou často lisovány po jednom závitě a jsou vyrobeny z materiálu třídy 11. Bezpečný a bezproblémový tok materiálu, je zaručen pomocí hladkých plechů bez svárů [21].

3.2.1 Plochá šnekovnice

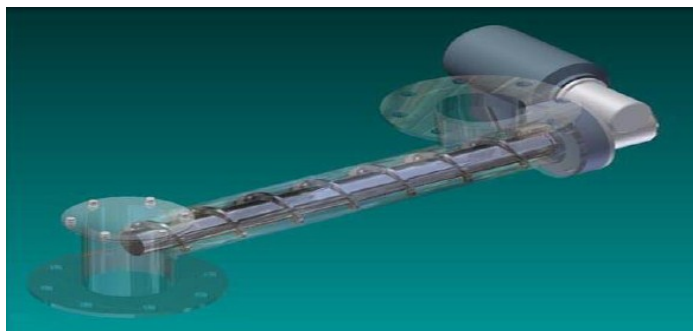
Je složena nejčastěji z ocelového plechu nebo jiného materiálu, jež je pomocí svého válcového průměru uchycen na hřídeli šneku. Výhodou této šnekovnice je použití pro šikmé šnekové podavače, které dopravují velmi jemný sypký materiál. Dochází zde k zabránění zpětného pohybu [21].



Obr. 4.1 Plochá šnekovnice [21]

3.2.2 Obvodová šnekovnice

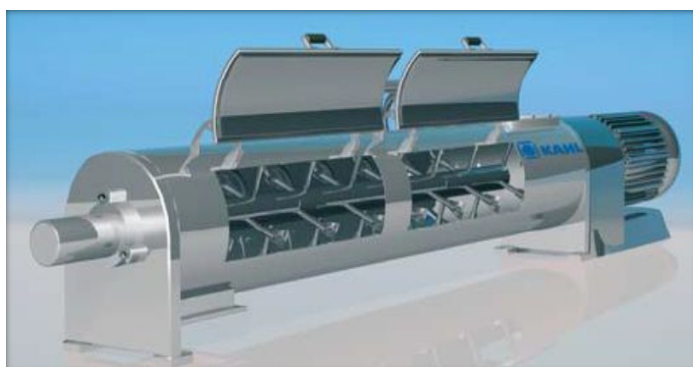
Vyválcována z ploché oceli za tepla, ke všemu dochází mezi kuželovitými kotouči. Tímto způsobem dosáhneme lichoběžníkového průřezu, který má užší základnu na obvodě. Prvky se připevňují k trubkovému hřídeli díky sevření dvoudílných držáků. Tyto držáky jsou ohnuté a zkroucené, jako materiál je použita plochá ocel. Mezi největší výhody patří odstraňování koutů mezi plochou ocelí a šnekovou hřídelí, takže téměř nedochází k nalepování materiálu. Používá se k dopravě materiálů, jež jsou husté, lepkavé a někdy i velmi tuhé [21].



Obr. 4.2 Obvodová šnekovnice [21]

3.2.3 Lopatková šnekovnice

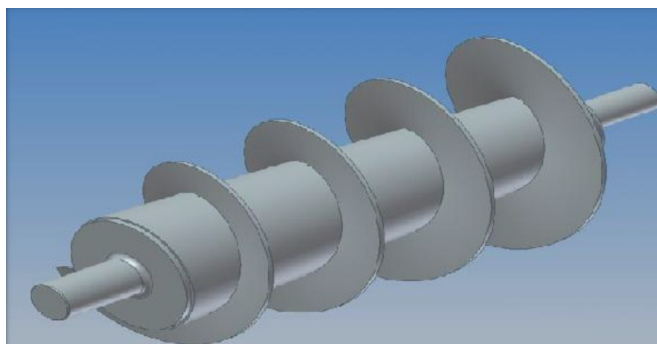
Tvořena speciálními segmenty (lopatkami). Tyto lopatky bývají navařeny na jádro šneku, tím je zajištěna doprava materiálu a správné promíchávání partikulárních hmot a směsí. Používá se k dopravě lepivých materiálů [21].



Obr. 4.3 Lopatková šnekovnice [21]

3.2.4 Kuželová šnekovnice

Vyrobená je s proměnným stoupáním. Nejmenší průměr je vždy na vstupu, to vede k lepšímu nakypření materiálu. Používá se jako míchací zařízení pro těžko tekoucí materiály.



Obr. 4.4 Kuželová šnekovnice [21]

3.2.5 Bezoosá spirálová šnekovnice

Šnekovnice nemá centrální hřídel, pohyb je uskutečněn ve speciální vystýlce žlabu. Tento princip dopravy se používá při dopravě kalů z čističky odpadních vod, za předpokladu, že podavač není kompletně zahlcen a daný materiál je posouván po dně žlabu [21].



Obr. 4.5 Bezoosá spirálová šnekovnice [21]

3.3 Míchací zařízení

Obecně jsou určeny k míchání a promíchávání kapalin a směsí. Materiály mají nejrůznější fyzikální vlastnosti a skupenství, proto mícháním anebo promícháváním docílíme směsi, kterou požadujeme. Ideální míchací zařízení vkládá do míchaného materiálu vždy co nejvíce relativního pohybu. Míchací nástroj má za úkol zrychlit částice míchaného materiálu tak, aby se systematicky dala měnit intenzita a směr daného vnosu síly. Postupně jsem se zaměřila na jednotlivé typy míchacích zařízení a popsala jejich vlastnosti.



Obr. 5.1 Míchací zařízení [17]

3.4 Druhy míchacích zařízení

Míchačky s nuceným oběhem (cyklonové míchačky)

Používáme je nejčastěji k míchání suchých, ale i mokrých směsí. Mezi jejich hlavní přednosti patří dokonalé promíchávání jednotlivých složek směsí za velmi krátký časový interval. Rychlost míchání se pohybuje 4 až 5 krát výš než je tomu u klasických bubnových míchaček, tím dosáhneme vysoké kvality výsledné směsi [9].

Princip fungování míchačky s nuceným oběhem

Její princip fungování je pomocí míchacích ramen, které rotují velmi vysokou rychlostí kolem vnitřní osy statické míchací nádrže. Míchání je zajištěno několika rameny, která zároveň slouží jako stírače směsi, jak z boků, tak i ze dna míchací nádoby. Míchací ramena jsou výškově nastavitelná do stran. Mezi vybavení těchto ramen patří i pryžové stěrky [9].

Dle druhu míchaných směsí, disponují míchačky několika typy míchadel. Pro lehké směsi používáme míchací lopatky. U těžších materiálů a směsí, které mají vyšší stupeň lepivosti, je vhodné použít míchací nebo hrabací lopatky. Míchačky určené pro míchání abrazivních materiálů mají míchací nádoby opatřeny snadno vyměnitelným vyloženkou ze standardního či otěruvzdorného materiálu. Míchací nádoby lze také vyrobit z otěruvzdorného materiálu. Základní druhy míchaček se odlišují pouze svou konstrukcí:

- standardní konstrukce s pojezdovými koly,
- konstrukce pro vysokou zátěž [9].

Plnění směsi probíhá přes síto ve víku míchačky. Víko disponuje trhacím hřebem, který je pro pytlované směsi. Konstrukce víka pomáhá zabránit vytékání materiálu, ke kterému dochází na bocích nádrží. Vypouštění materiálu provádíme pomocí pootočení posuvného segmentu, jež se nachází na dně nádoby. Pohon míchacích ramen je řešen šnekovou a nebo kuželočelní elektropřevodovkou vyžadující jen minimální údržbu. Motory, které mají výkon 5,5 kW a vyšší, jsou vybaveny softstartérem, zajišťujícím plynulý rozběh lopatek [9].



Obr. 5. 2 Míchací zařízení typu M 250 H [9]

Použití tohoto zařízení je zejména ve stavebním průmyslu. Pro míchání minerálních, akustických, polymerových omítek, sanačních malt, potěrů, granulátů, filtračních písků a umělého kamene.

3.4.1 Míchačky šnekové

Míchačky šnekové typové řady 70

Jsou určeny k velmi plynulému podávání a míchání zrnitých a práškových materiálů. Mezní zrnitost materiálů se pohybuje od 0 – 3 mm a granulometrický rozsev míchaných částic je ve většinové struktuře stejný. Při suchém míchání není dovoleno, aby vlhkost práškových materiálů přesáhla obsah vody víc než 1%. Materiál nesmí být v žádném případě lepkavý. Maximální teplota dopravovaného materiálu se pohybuje v rozmezí od – 30° do + 200° C. Doprava ve vodorovném směru se uskutečňuje nejčastěji, někdy se ovšem setkáváme i se sklony. Maximální sklon dosahuje 5° s tím, že je důležité toto používání konzultovat s výrobcem. Šnekové míchačky jsou vyrobeny i v typovém provedení pro mokré míchání, kde musí být rozvod vody. Typová řada šnekových míchaček má celkem 6 základní velikosti, které jsou odvozeny od průměrů šnekovnic a to od 400 až do 900 mm, v celé škále otáček šnekových hřídelů a jím odpovídajících výkonů. Dopravní délky volíme v rozmezí 1000 – 6000 mm. Podavače jsou vybavené pohonem, držákem hlídače rotačního pohybu a dále spojovacím materiálem [16].

Šnekové míchačky jsou tvořeny korytem, na koncích je koryto uzavřeno štíty s valivými ložisky. Nachází se zde také speciální těsnění šnekového míchacího hřídele. Koryto má jak čistící, tak i nahlížecí otvory. Šneková hřídel i míchací šnekovnice jsou

uloženy ve venkovních ložiscích. Vstupní a výstupní příruby se nacházejí buď volně, nebo se přivaří až na stavbě. Pohon míchačky je vyřešen několika způsoby. Standardním provedením je forma elektropřevodovky, která bývá spojena se šnekovou hřídelí díky pružné spojce. Další alternativou je řetězové kolo nebo násuvná převodovka. Míchačky jsou nejčastěji vyrobeny z oceli třídy 11. Na zvláštní požadavek můžou být dodány z hardoxu nebo s návarem tvrdokovu [16].



Obr. 5.3 Šneková míchačka [16]

Šaržové jednohřídelové radlicové míchačky

Jsou to robustní a velmi spolehlivé míchačky. Princip jejich práce spočívá v mechanické fluidizaci produktů. Speciálně tvarované nástroje ve tvaru radlic umožňují rotovat uvnitř válcové míchací komory. Vířivé a odstředivé síly způsobují pohyb míchaných částic v trojrozměrném prostoru. Toto vše vede k důkladnému promíchání veškerého materiálu uvnitř zařízení. Nejčastěji ji používáme ve stavebním průmyslu [8].



Obr. 5.4 Šaržová jednohřídelová radlicová míchačka [8]

Šaržové dvouhřídelové lopatkové míchačky

Jsou to dvouhřídelová lopatková míchací zařízení se dvěma paralelními bubny. V bubnech jsou umístěny protiběžné hřídele. Hřídel je vybaven pádly, na kterých jsou přesně nastaveny lopatky. Použití těchto míchacích zařízení je rovněž ve stavebním průmyslu [7].



Obr. 5.5 Šaržová dvouhřídelová lopatková míchačka [7]

Šaržové žebrové míchačky

Šaržové žebrové míchací zařízení má jednu nosnou hřídel. Na nosné hřídeli jsou umístěné míchací pásy, ze kterých vnější dále posouvá materiál od konců míchačky směrem do středu. Vnitřní pásy naopak materiál posouvají ze středu ke kraji. Materiál je zpracováván v poměrně krátkém čase. Míchačky nejčastěji používáme pro míchání suchých prášků nebo granulí. Toto zařízení lze použít i pro míchání nízkoviskozních past [6].



Obr. 5.6 Šaržová žebrová míchačka [6]

Dvouhřídelové šnekové míchačky typu MESC

Jejich nedílnou součástí jsou dva paralelní protiběžné hřídele s pádly. Nastavitelný úhel sklonu lopatek nám umožňuje velmi dobré přizpůsobování různým typům a druhům materiálů, požadavkům a také procesům míchání. Použití u velmi abrazivních materiálů a ve stavebním průmyslu [5].



Obr. 5.7 Dvouhřídelová šneková míchačka [5]

Kontinuální míchačky typu LFK

Dvouhřídelové kontinuální míchací zařízení je výkonné a spolehlivé. Určeno zvláště tam, kde je potřeba míchat hrubé kamenivo. Vhodné pro výrobu a míchání minerálních směsí, těžkého betonu a suchých směsí [4].



Obr. 5. 8 Kontinuální míchačka typu LFK [4]

4. VÝBĚR VARIANTY ŘEŠENÍ

V návrhové části diplomové práce jsem se zaměřila na výběr míchacího zařízení. Z několika možných variant jsem zvolila tři, u nichž jsem se zaměřila na hodnocení jejich vlastností a konstrukce tak, aby mnou zvolená varianta byla variantou nejvhodnější. Jednotlivé varianty jsou detailněji popsány níže.

Varianta č. 1

Dvouhřídelová šneková míchačka typu MESC

Hlavní součástí této míchačky jsou dva paralelní protiběžné hřídele s pádly. Díky nastavitelnému úhlu lopatek se velmi dobře přizpůsobuje jednotlivým druhům přepravovaných materiálů. Šneková míchačka není nejvhodnější volbou, protože mezi přepravovanými materiály jsou kaly, zde by mohlo docházet k ucpávání šneků a tvorbě zátek.

Varianta č. 2

Šaržová žebrová míchačka

Tyto zařízení jsou charakteristické jednou nosnou hřídelí. Na nosné hřídeli bývají umístěny míchací pásy. Vnější slouží k posuvu materiálu od konců míchačky směrem do středu. Vnitřní pás má za úkol posouvat materiál ze středu ke kraji. Materiál je zpracováván rychle a efektivně. Tento typ je určen většinou k míchání suchých směsí. Mezi materiály, které mám zadány k přepravě, jsou kaly, proto toto zařízení nemohu použít.

Varianta č. 3

Dvouhřídelová lopatková míchačka

V mísící komoře se nachází hřídel s lopatkami, jež se otáčí v opačných směrech. Opačné směry otáčení lopatek vedou k lepšímu mísení materiálu a zároveň dochází k posunu kupředu. Sklon lopatek stanovuje rychlost posunu materiálu. Čím vyšší máme sklon lopatek, tím vyšší je rychlost posunu materiálu a zmenšuje se poměr smíchání. Zmenšení sklonu lopatek nám naopak umožňuje, aby materiál zůstal v mísící komoře déle. To nám zlepší proces mísení.

Výběr varianty řešení:

Při výběru varianty bylo zvoleno takové zařízení, které nejlépe vyhovuje jak z hlediska rozměrového, tak z hlediska konstrukčního. Dalším důležitým aspektem byl výběr materiálů, které mají různorodé mechanicko – fyzikální vlastnosti. Z výše nabízených variant jsem zvolila variantu číslo 3, přičemž se jedná o dvouhřídelovou lopatkovou míchačku.

5. NÁVRH MÍCHACÍHO ZAŘÍZENÍ

5.1 Kontrola pohonu

Co se týče zadaných parametrů, ty nabývají následujících hodnot:

Dopravní výkon: 60 t.h^{-1}

Materiál: kaly, biomasa, popílek, vápno, škvára.

Preferovaný pohon: 22 kW , 31 ot.min^{-1}

Hustota následujících surovin:

- popílek $\rho_p = 700 \text{ kg.m}^{-3}$
- kal $\rho_k = 1100 \text{ kg.m}^{-3}$
- vápno $\rho_v = 700 \text{ kg.m}^{-3}$
- voda $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
- škvára $\rho_s = 2123 \text{ kg.m}^{-3}$

kde:

$\rho_p \dots$ hustota popílku [kg.m^{-3}]

$\rho_k \dots$ hustota kalu [kg.m^{-3}]

$\rho_v \dots$ hustota vápna [kg.m^{-3}]

$\rho_{H_2O} \dots$ hustota vody [kg.m^{-3}]

$\rho_s \dots$ hustota škváry [kg.m^{-3}]

Výpočet jsem provedla pro směs kalů a vápna při procesu solidifikace. Dle literatury předpokládám, že procentuální zastoupení jednotlivých prvků bude následující:

- vápno 30 %,
- kaly 70 %.

Střední hustota se vypočítá následujícím způsobem:

$$\rho_s = \rho_k \cdot 0,7 + \rho_v \cdot 0,3 \quad (1)$$

$$\rho_s = 1100 \cdot 0,7 + 700 \cdot 0,3$$

$$\rho_s = 980 \text{ kg.m}^{-3}$$

Pro výše zmíněné údaje je výsledná střední hustota 980 kg.m^{-3} .

kde:

$\rho_k \dots$ hustota kalu [kg.m^{-3}]

$\rho_v \dots$ hustota vápna [kg.m^{-3}]

Objemový výkon:

$$Q_{vm} = \frac{Q_m}{\rho_s} \quad (2)$$

$$Q_{vm} = \frac{60\,000}{980}$$

$$Q_{vm} = 61,22 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

kde:

$Q_m \dots$ dopravní výkon [t.h^{-1}]

$\rho_s \dots$ střední hustota směsi [kg.m^{-3}]

Výpočet vnějšího průměru kružnice opsané lopatkami

U výpočtu vnějšího průměru kružnice opsané lopatkami vycházím ze vzorce:

$$Q_{vm} = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n_2 \cdot c_H \quad (3)$$

kde:

$n_2 \dots$ otáčky na výstupu z převodovky ($n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1} = 0,52 \text{ ot.s}^{-1}$)

$c_H \dots$ součinitel naklonění pro snížení dopravního množství ($c_H = 1$)

$\psi \dots$ součinitel objemového plnění ($\psi = 0,45$)

$D \dots$ vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

$Q_{vm} \dots$ objemová výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

$s \dots$ stoupání šnekovnice ($s = 812 \text{ mm}$).

Po úpravě vztahu pro výpočet vnějšího průměru kružnice opsané lopatkami získáme vztah:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{vm}}{3600 \cdot s \cdot \pi \cdot \psi \cdot n_2 \cdot c_H}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 61,22}{3600 \cdot 0,812 \cdot \pi \cdot 0,45 \cdot 0,52 \cdot 1}}$$

$$D = 0,3386 \text{ m} = \underline{\underline{337,6 \text{ mm}}}$$

kde:

n_2 ... otáčky na výstupu z převodovky ($n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1} = 0,52 \text{ ot.s}^{-1}$)

c_H ... součinitel naklonění pro snížení dopravního množství ($c_H = 1$)

ψ ... součinitel objemového plnění ($\psi = 0,45$)

D ... vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

Q_{vm} ... objemová výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

Volím parametry lopatek:

Vnější průměr kružnice opsané lopatkami **$D = 770 \text{ mm}$**

Stoupání šnekovnice **$s = 812 \text{ mm}$**

Úhel stoupání šnekovnice

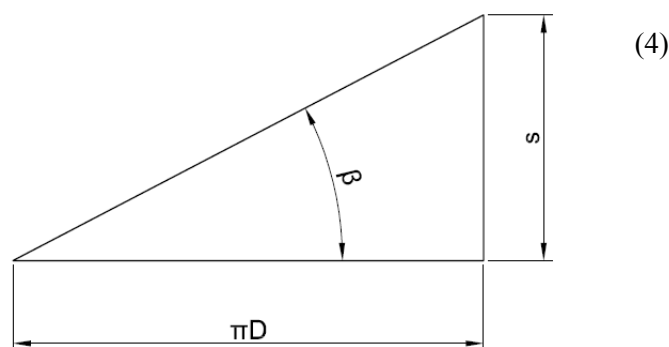
$$\beta = \arctg \frac{s}{D \cdot \pi}$$

$$\beta = \arctg \frac{812}{770 \cdot \pi} = \underline{\underline{18,55^\circ}}$$

β ... úhel stoupání šnekovnice [$^\circ$]

s ... stoupání šnekovnice [m]

D ... vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]



Obr. 7.1 Úhel stoupání šnekovnice

Výpočet součinitele přerušení šroubovice:

$$k_p = \frac{b \cdot z \cdot \cos \delta}{\frac{\pi \cdot D}{\cos \beta}} \quad (5)$$

$$k_p = \frac{0,290 \cdot 4 \cdot \cos 26,45}{\frac{\pi \cdot 0,770}{\cos 18,55}}$$

$$k_p = 0,407$$

kde:

k_p ... součinitel přerušení šroubovice [-]

b ... šířka lopatek (volím $b = 290$ mm)

z ... počet lopatek na jeden závit šnekovnice (dle literatury doporučeno $z = 4$)

α ... úhel nastavení lopatek (volím $\alpha = 45^\circ$)

Výpočet úhlu naklonění lopatky ke šroubové ploše:

$$\delta = 90^\circ - \alpha - \beta \quad (6)$$

$$\delta = 90^\circ - 45^\circ - 18,55^\circ$$

$$\delta = \underline{26,45^\circ}$$

kde:

β ... úhel stoupání šnekovnice [°]

α ... úhel nastavení lopatek (volím $\alpha = 45^\circ$)

Tečná rychlost:

Pokud roste úhlová rychlost, roste i výkonnost mísiče. Osová rychlost je přímo závislá na obvodové rychlosti lopatek, jejich optimálním tvaru a přesném nastavení.

$$v_t = \pi \cdot D \cdot n_2 \quad (7)$$

$$v_t = \pi \cdot 0,770 \cdot 0,52$$

$$v_t = 1,258 \text{ m.s}^{-1}$$

kde:

$D \dots$ vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

$n_2 \dots$ otáčky na výstupu z převodovky ($n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1} = 0,52 \text{ ot.s}^{-1}$)

Osová rychlost

$$v_{os} = k_v \cdot k_p \cdot v_t \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (8)$$

$$v_{os} = 0,7 \cdot 0,407 \cdot 1,258 \cdot \operatorname{tg} 18,55$$

$$v_{os} = 0,118 \text{ m.s}^{-1}$$

$k_v \dots$ součinitel vracení se směsí (0,7)

$k_p \dots$ součinitel přerušení šroubovice [-]

$v_t \dots$ tečná rychlost [m.s^{-1}]

$\beta \dots$ úhel stoupání šnekovnice [$^\circ$]

Plocha toku materiálu v zařízení:

$$S_m = \frac{Q_{vm}}{3600 \cdot v_{os}} \quad (9)$$

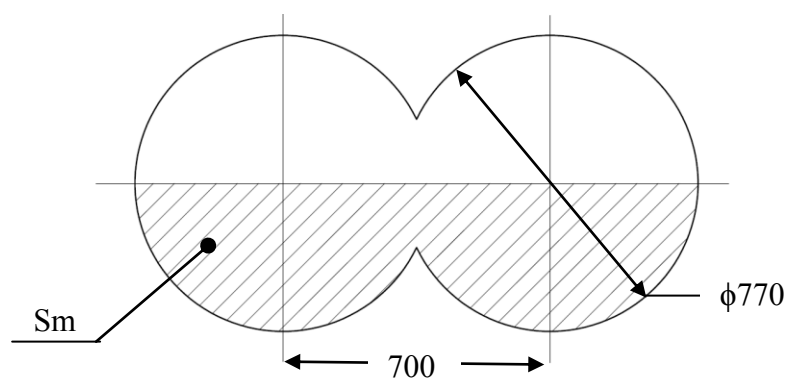
$$S_m = \frac{61,22}{3600 \cdot 0,118}$$

$$S_m = 0,144 \text{ m}^2$$

kde:

$Q_{vm} \dots$ objemová výkonnost [$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$]

$v_{os} \dots$ osová rychlost [m.s^{-1}]

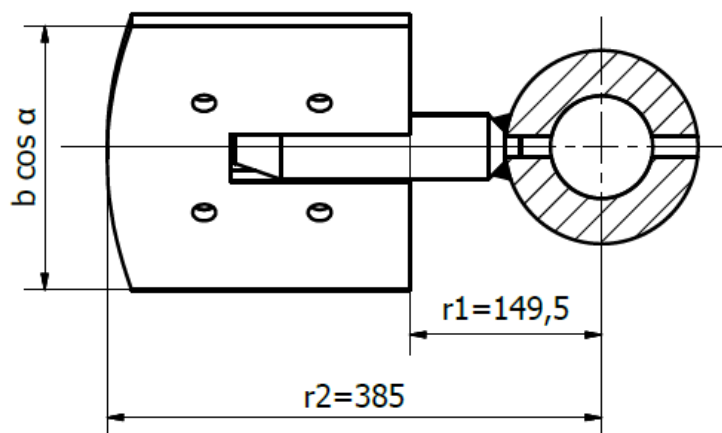


Obr. 7.2 Průřez toku materiálu

Kontrola zvoleného motoru:

Zvolila jsem motor o parametrech $P = 22 \text{ kW}$; $n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1}$

Vycházím z momentu potřebného pro překonání odporu lopatek při mísení.



Obr. 7.3 Síla působící na lopatku

$$M_{klo} = k_r \cdot b \cdot \cos \alpha \int_{r_1}^{r_2} r dr \quad (10)$$

Po úpravě získáme:

$$M_{klo} = \frac{k_r \cdot b \cdot \cos \alpha (r_2^2 - r_1^2)}{2}$$

kde:

$k_r \dots$ odpor lopatek při mísení ($k_r = 15000 \text{ N.m}$)

$b \dots$ šířka lopatky ($b = 0,29 \text{ m}$)

r_1 a $r_2 \dots$ ramena momentu při namáhání lopatky ($r_1 = 385 \text{ mm}$, $r_2 = 149,5 \text{ mm}$)

Moment potřebný pro otáčení lopatek

$$M_{klo} = \frac{15000 \cdot 0,29 \cdot \cos 45^\circ (0,385^2 - 0,1495^2)}{2}$$

$$M_{klo} = \underline{193,58 \text{ Nm}}$$

$$Mk_1 = M_{klo} \cdot p_1 \cdot kn \quad (11)$$

$$Mk_1 = 193,58 \cdot 14 \cdot 0,6$$

$$Mk_1 = \underline{1626,16 \text{ Nm}}$$

kde:

$p_1 \dots$ počet lopatek na hřídeli [-]

$k_n \dots$ koeficient naplnění mísiče (0,6)

$M_{klo} \dots$ moment potřebný pro otáčení lopatky [N.m]

Výkon pro překonání odporu:

$$P = Mk_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_2 \quad (12)$$

$$P = 1626,16 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,52$$

$$P = \underline{5313,1 \text{ W}}$$

kde:

$n_2 \dots$ otáčky na výstupu z převodovky ($n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1} = 0,52 \text{ ot.s}^{-1}$)

$M_{kl} \dots$ moment potřebný pro otáčení lopatek [N.m]

$$P_{min} = \frac{Q \cdot g}{3600} \cdot (l \cdot w \pm h) \quad (13)$$

$$P_{min} = \frac{60\,000 \cdot 9,81}{3600} \cdot (2,8 \cdot 3,8)$$

$$P_{min} = \underline{1739,64 \text{ W}}$$

kde:

$Q \dots$ požadovaný dopravní výkon [t.hod⁻¹]

$g \dots$ gravitační zrychlení [m.s⁻²]

$l \dots$ délka míchačky ($l = 2,8 \text{ m}$)

$w \dots$ globální součinitel odporu (součinitel pro vápno $w = 3,8$)

Celkový potřebný výkon dále spočteme jako součet obou předchozích.

$$P_C = P + P_{min} \quad (14)$$

$$P_C = 5313,1 + 1739,64$$

$$P_C = \underline{\underline{7052,74 \text{ W}}}$$

kde:

$P \dots$ výkon pro překonání odporu [W]

$P_{min} \dots$ výkon minimální [W]

Pro kontinuální lití se doporučuje počítat s rezervou, která činí 20 % tedy:

$$P_{Ck} = P_C \cdot 1,2 \quad (15)$$

$$P_{Ck} = 7052,74 \cdot 1,2$$

$$P_{Ck} = \underline{\underline{8463,3 \text{ W}}}$$

Potřebný výkon je 8,5 kW, přičemž mnou zvolený motor dosahuje výkonu 22 kW, což vyhovuje požadavkům.

5.2 Stanovení podmínek funkce mísiče

Pro další postup je velmi důležitý výpočet stanovení podmínek funkce mísiče.

$$-F_N \sin \frac{\alpha_z}{2} + 2fF_N \cos \frac{\alpha_z}{2} + F = 0 \quad (16)$$

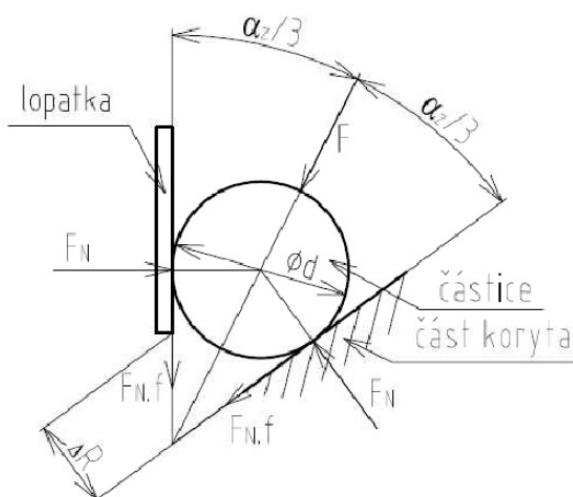
kde:

$F_N \dots$ normálová síla [N]

$\alpha_z \dots$ úhel zachycení [°]

$f \dots$ součinitel tření částice o lopatku i žlab ($f = 0,5$)

$F \dots$ síla působící na částici ze strany mísené směsi [N]



Obr. 7.4 Rovnováha sil na částici mezi lopatkami a korytem [22]

Normálovou silou F_N dochází k vtačování částice mezi lopatku a plášť koryta. Úhel zachycení α_z zobrazuje, pod jakým sklonem je tvrdá částice uchopena lopatkou a přemísťována po povrchu pláště.

Vyjádříme α_z :

$$\alpha_z = \sqrt{\frac{R + b' \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{R - b' \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}} \quad (17)$$

Lze dále upravit na následující tvar:

$$\alpha_z = \arctg \sqrt{\frac{R}{R}} = \arctg 1 = 45^\circ \quad (18)$$

$$\alpha_z \leq 2\varphi + 2\arcsin \left(\frac{F}{2F_N} \cos \varphi \right) \quad (19)$$

kde:

φ ... úhel tření mezi zrnem a žlabem

Důležitým faktem je, že se síla F zanedbává, přičemž vztah pak pro $F = 0$ můžeme upravit jako:

$$\varphi = \arctg (f) \quad (20)$$

$$\varphi = \arctg 0,5$$

$$\varphi = 26^{\circ}33'$$

$$45^{\circ} \leq 2 \cdot 26^{\circ}33' \underline{\underline{45^{\circ} \leq 53^{\circ}6'}} \text{ VYHOVUJE}$$

5.3 Kontrolní výpočty navržených součástí

Kontrola hřídele na krut

$$\tau = \frac{Mk_2}{Wk} \quad (21)$$

kde:

$Mk_2 \dots$ kroutící moment vyvolaný zvoleným motorem. ($P = 22 \text{ kW}$; $n_2 = 31 \text{ min}^{-1}$)

$Wk \dots$ modul průřezu v krutu plochy (v tomto případě se jedná o mezikruží)

Výpočet kroutícího momentu:

$$Mk_2 = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n_2} \quad (22)$$

$$Mk_2 = \frac{30 \cdot 22 \cdot 10^3}{\pi \cdot 31}$$

$$Mk_2 = 6776,9 \text{ Nm}$$

$P \dots$ výkon motoru [W]

$n_2 \dots$ otáčky na výstupu z převodovky ($n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1} = 0,52 \text{ ot.s}^{-1}$)

Rozměry duté hřídele: $D_I = 150 \text{ mm}$, $d_I = 70 \text{ mm}$

$$Wk = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \quad (23)$$

$$Wk = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{150^4 - 70^4}{150}$$

$$Wk = 631250,68 \text{ mm}^3$$

kde:

$d_I \dots$ vnitřní průměr hřídele (70 mm)

$D_I \dots$ vnější průměr hřídele (150 mm)

$W_k \dots$ modul průřezu v krutu plochy (v mém případě mezikruží)

Výpočet napětí

$$\tau = \frac{6776,9 \cdot 10^3}{631250,68} = \underline{\underline{10,73 \text{ MPa}}}$$

$$\tau \leq \tau_D \quad (\tau_D = 85 \text{ MPa})$$

$10,73 \text{ MPa} \leq 85 \text{ MPa}$ výpočet napětí tedy vyhovuje podmínce.

Výpočet síly na jednu lopatku

Odpor, který je způsobován pohybem lopatky působí ve středu vybraného elementu (plochy). Proto použijeme vzorec.

$$F_1 = k_r \cdot b \cdot \cos \alpha \int_{r_1}^{r_2} dr \quad (24)$$

$$F_1 = k_r \cdot b \cdot \cos \alpha (r_2 - r_1) \quad (25)$$

kde:

$k_r \dots$ odpor materiálu ($k_r = 15000 \text{ N}$)

$b \dots$ šířka lopatky ($b = 0,29 \text{ m}$)

$\alpha \dots$ úhel nastavení lopatek ($\alpha = 45^\circ$)

$r_1, r_2 \dots$ ramena lopatky na hřídeli ($r_1 = 385 \text{ mm}$, $r_2 = 149,5 \text{ mm}$)

Sílu F_1 tedy spočteme:

$$F_1 = 15000 \cdot 0,29 \cdot \cos 45^\circ (0,385 - 0,1495)$$

$$F_1 = \underline{\underline{724,4 \text{ N}}}$$

Zjednodušená plocha lopatky:

$$S_1 = b \cdot (r_2 - r_1) \quad (26)$$

$$S_1 = 0,29 \cdot (0,385 - 0,1495)$$

$$S_1 = 0,0683 \text{ m}^2$$

b ... šířka lopatky ($b = 0,29 \text{ m}$)

r_1, r_2 ... ramena lopatky na hřídeli (příčměž $r_1 = 385 \text{ mm}$, $r_2 = 149,5 \text{ mm}$)

Tlak působící na lopatku:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} \quad (27)$$

$$p_1 = \frac{724,4}{0,0683} = 10606,15 \text{ Pa} = \underline{\underline{0,00106 \text{ MPa}}}$$

kde:

S_1 ... zjednodušená plocha lopatky [m^2]

F_1 ... síla působící na jednu lopatku [N]

S hodnotou tlaku budu dále počítat při pevnostním výpočtu lopatky v MKP.

5.4 Výpočet životnosti ložisek

Pro uchycení obou hřídelí jsem zvolila ložiskové domky SKF s kuličkovými ložisky. U výpočtů jsem vycházela z parametrů uvedených v katalogu. [15]

5.4.1 Kontrola předních ložisek

Přední ložiska jsou zatěžována radiální silou vyvolanou hmotností hřídele a axiální silou od lopatek, proto je výpočet axiální síly následující:

$$Fa = \frac{P_{min}}{2 \cdot v_{os}} \quad (28)$$

$$Fa = \frac{1739,64}{2 \cdot 0,118} = 7371,35 \text{ N}$$

kde:

P_{min} ...výkon potřebný pro míchání směsi[W]

v_{os} ... osová rychlost [m.s⁻¹]

Výpočet radiálního zatížení:

Kde hmotnost hřídele: $m_H = 520,55$ kg (zjištěno v programu Autodesk Inventor 2014). Zatížení vychází z hmotnosti hřídele. Radiální síla odpovídá reakci pod prvním ložiskem.

$$q_m = \frac{m_H \cdot g}{l_H} \quad (29)$$

$$q_m = \frac{520,55 \cdot 9,81}{3,31} = 1542,8 \text{ N}$$

kde:

m_h ...hmotnost hřídele [kg]

g ...gravitační rychlost [m.s⁻²]

l_h ...vzdálenost mezi ložisky [m]

Výpočet reakce pod ložiskem Ri:

$$\sum M_O = 0 \quad (30)$$

$$\frac{q_m \cdot l_H^2}{2} - R_i \cdot l_H = 0 \quad (31)$$

$$R_i = \frac{q_m \cdot l_H}{2} \quad (32)$$

$$R_i = \frac{1542,8 \cdot 3,31}{2} = 2553,33 \text{ N}$$

l_h ...vzdálenost mezi ložisky [m]

q_m ...radiální zatížení [N]

R_i ...reakce pod ložiskem [N]

Výpočet skutečného zatížení ložiska:

$$Pr = X \cdot V \cdot R_i + Y \cdot Fa \quad (33)$$

$$Pr = 0,56 \cdot 1 \cdot 2553,33 + 1,15 \cdot 7371,35$$

$$Pr = \underline{9906,9 \text{ N}}$$

kde:

X ...součinitel dynamického radiálního zatížení ložiska ($X = 0,56$)

Y ...součinitel dynamického axiálního zatížení ložiska ($Y = 1,15$)

V ...rotační součinitel (pro obvodové zatížení $V = 1$)

R_i ...reakce pod ložiskem [N]

F_a ...axiální síla [N]

Hodnoty součinitelů jsem získala z katalogu výrobce ložiska [15]

Hodinová životnost ložiska:

$$L_h = \left(\frac{C_o}{Pr} \right)^e \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2}$$

$$L_h = \left(\frac{124000}{9906,9} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 31} = 1054238,3h$$

kde:

e ...koeficient závislý na druhu ložiska ($e = 3$ se volí pro kuličková ložiska)

C_o ...dynamická radiální únosnost ($C_p = 124\,000 \text{ N}$)

P_r ...skutečné zatížení ložiska [N]

n_2 ...otáčky na výstupu z převodovky ($n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1}$)

5.4.2 Kontrola zadních ložisek

Zatížení zadních ložisek je obdobné jako zatížení ložisek předních, rozdílem je pouze působení axiální síly, která je zde rovna nule.

$$Pr = X \cdot V \cdot R_i + Y \cdot Fa \quad (34)$$

$$Pr = 0,56 \cdot 1 \cdot 2553,33 + 0$$

$$Pr = \underline{1429,9 \text{ N}}$$

kde:

X ... součinitel dynamického radiálního zatížení ložiska ($X = 0,56$)

V ... rotační součinitel (pro obvodové zatížení $V = 1$)

Y ... součinitel dynamického axiálního zatížení ložiska ($Y = 1,15$)

R_i ...reakce pod ložiskem [N]

F_a ...axiální síla [N]

Hodinová životnost ložiska:

$$L_h = \left(\frac{C_o}{Pr} \right)^e \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} \quad (35)$$

$$L_h = \left(\frac{124000}{1429,9} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 31} = 350618730h$$

e ... koeficient závislý na druhu ložiska ($e = 3$ se volí pro kuličková ložiska)

n_2 ... otáčky na výstupu z převodovky ($n_2 = 31 \text{ ot.min}^{-1}$)

C_o ...dynamická radiální únosnost ($C_p = 124\,000 \text{ N}$)

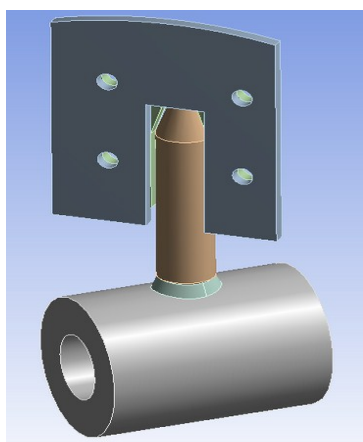
L_h ... hodinová životnost ložiska [h]

5.5 MKP výpočty

V této kapitole se budu zabývat pevnostní analýzou navržených dílů. Analýzu jsem provedla v programu ANSYS 14.

5.5.1 Kontrola lopatky

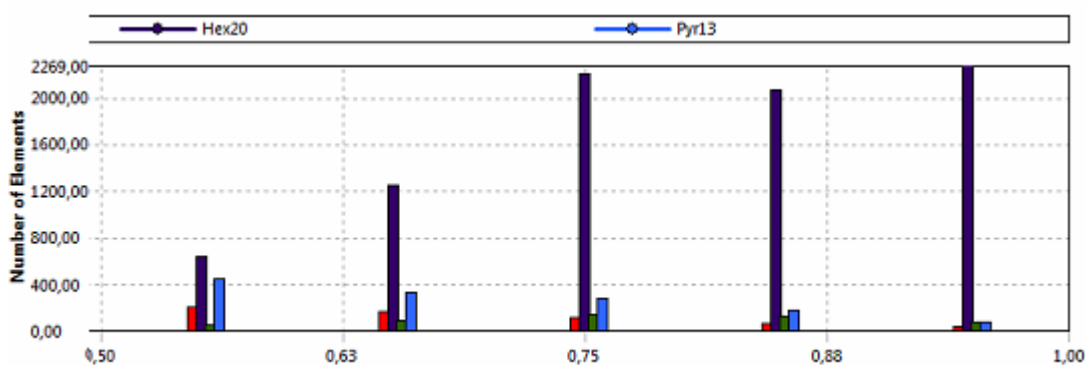
Pro zjednodušení výpočtu jsem provedla výpočet jen u jedné lopatky. Na plochu lopatky působí tlak směsi při proudění. Tlak jsem spočetla v předešlé kapitole ($p_l = 0,0106$ MPa; $S = 0,068 \text{ m}^2$).



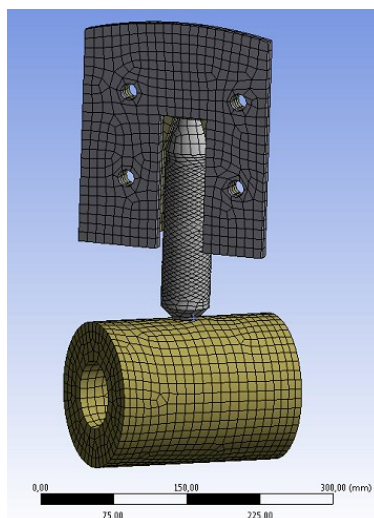
Obr. 7.5 Lopatka

Diskretizace modelu:

Model lopatky jsem diskretizovala s nastavením hexagonální mřížky, která zajistí co nejpřesnější výsledek analýzy. Pro potvrzení kvality diskretizace byla vygenerována charakteristika, která určí kvalitu vygenerovaného modelu pro výpočet.



Obr. 7.5 Analýza diskretizovaného modelu

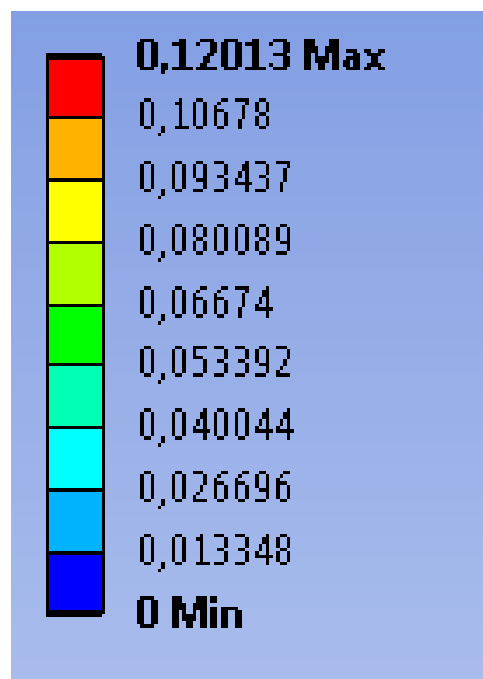
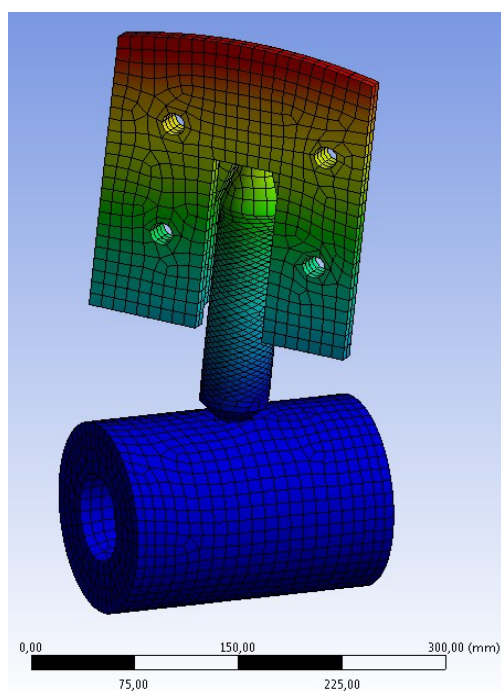


Obr. 7.6 Diskretizovaný model

Výsledky analýzy

Posunutí:

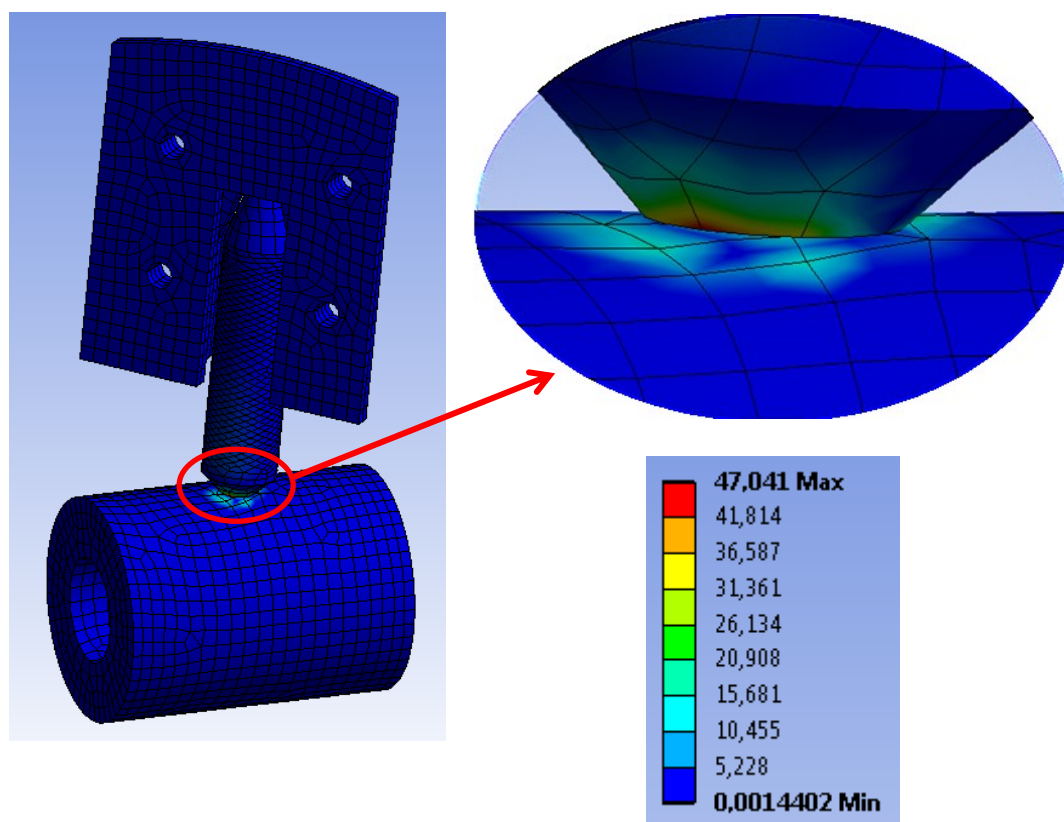
Nejprve jsem provedla analýzu posunutí. Analýza popisuje velikost posunutí na délce lopatky při daném zatížení. Na obr. 7.7 vidíme, že hodnoty posunutí nabývají hodnot do 0,12 milimetrů.



Obr. 7.7 Výsledky analýzy posunutí na lopatce

Redukované napětí HMM

Dále jsem provedla analýzu redukovaného napětí, která je zobrazena na obrázcích níže.

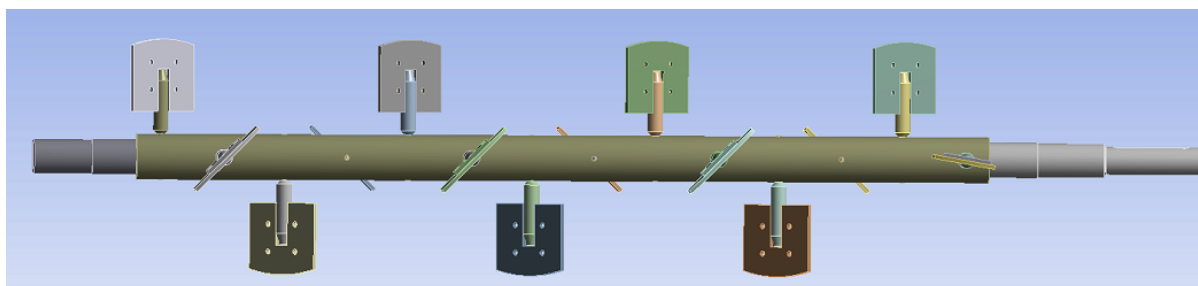


Obr. 7.8 Napětí HMM na patě lopatky

Analýza napětí HMM nám zobrazuje napětí způsobené ohybem u paty lopatky. Napětí dosahuje hodnot do 47 MPa. Lopatka je vyrobena z koroziivzdorné oceli s mezí kluzu $Re = 470$ MPa, takže lopatka pevnostní analýze vyhovuje.

5.5.2 Kontrola lopatkové hřídele na ohyb

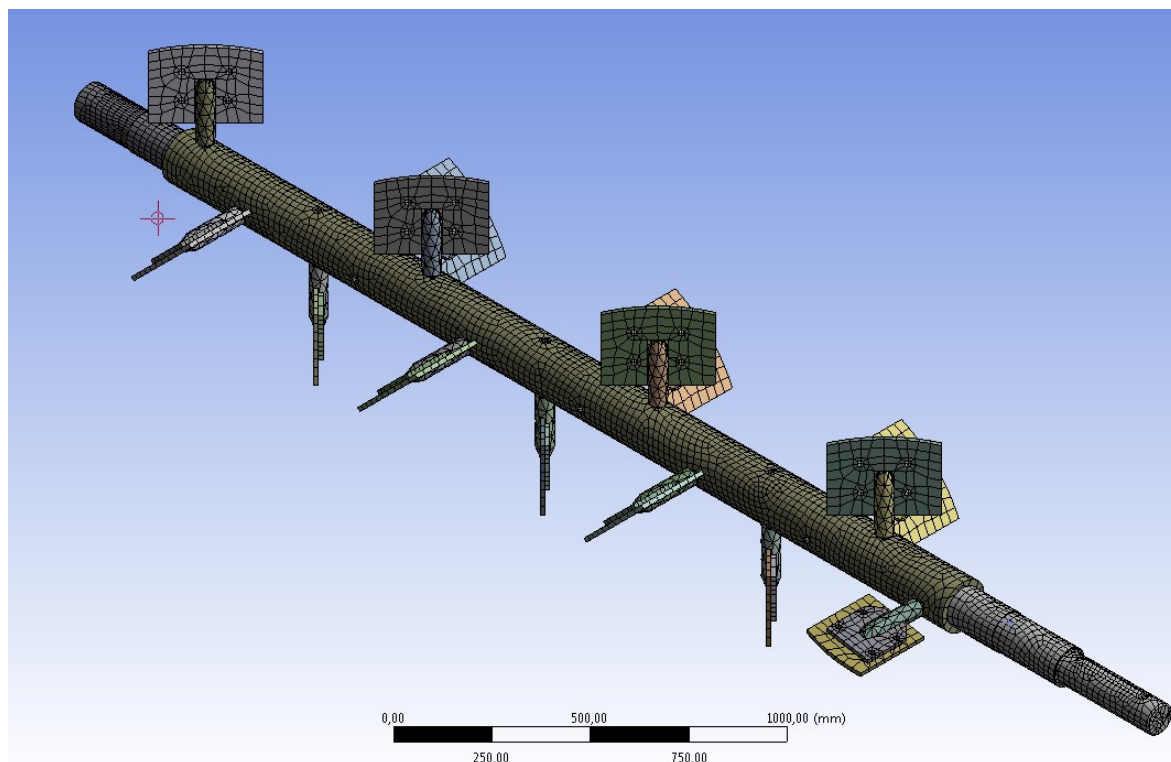
Lopatková hřídel je namáhaná na ohyb svou vlastní hmotností. Hmotnost jsem spočítala v programu Autodesk Inventor 2014.



Obr. 7.9 Lopatová hřídel

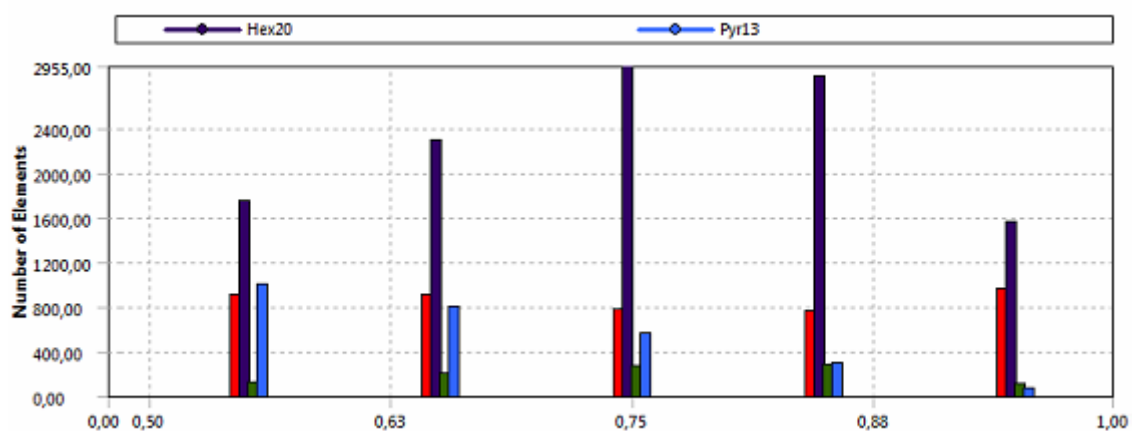
Diskretizace modelu:

U modelu lopatkové hřídele jsem provedla diskretizaci a vygenerovala analýzu zvolené metody. Metodu jsem opět zvolila pomocí hexagonálních elementů. Výsledky analýzy jsou důležité pouze na válcové části hřídele. Pro zrychlení výpočtu zvolila jemnou velikost elementů. Každé zjemnění sítě totiž neúměrně prodlužuje výpočet.



Obr. 7.10 Diskretizovaný model lopatkové hřídele

Statistika kvality elementů má následující podobu:

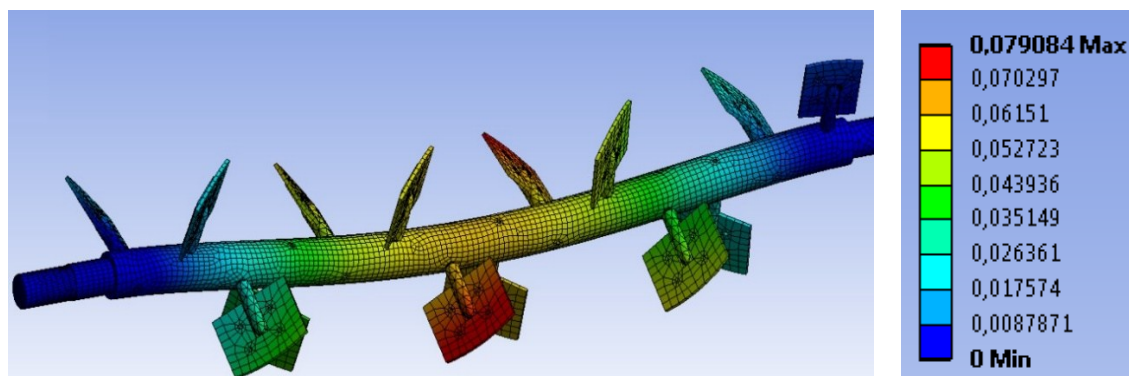


Obr. 7.11 Analýza diskretizovaného modelu

Výsledky analýzy

Hřídel je zatížena vlastní hmotností, která činí 520,55 kilogramů a je uložena v ložiscích.

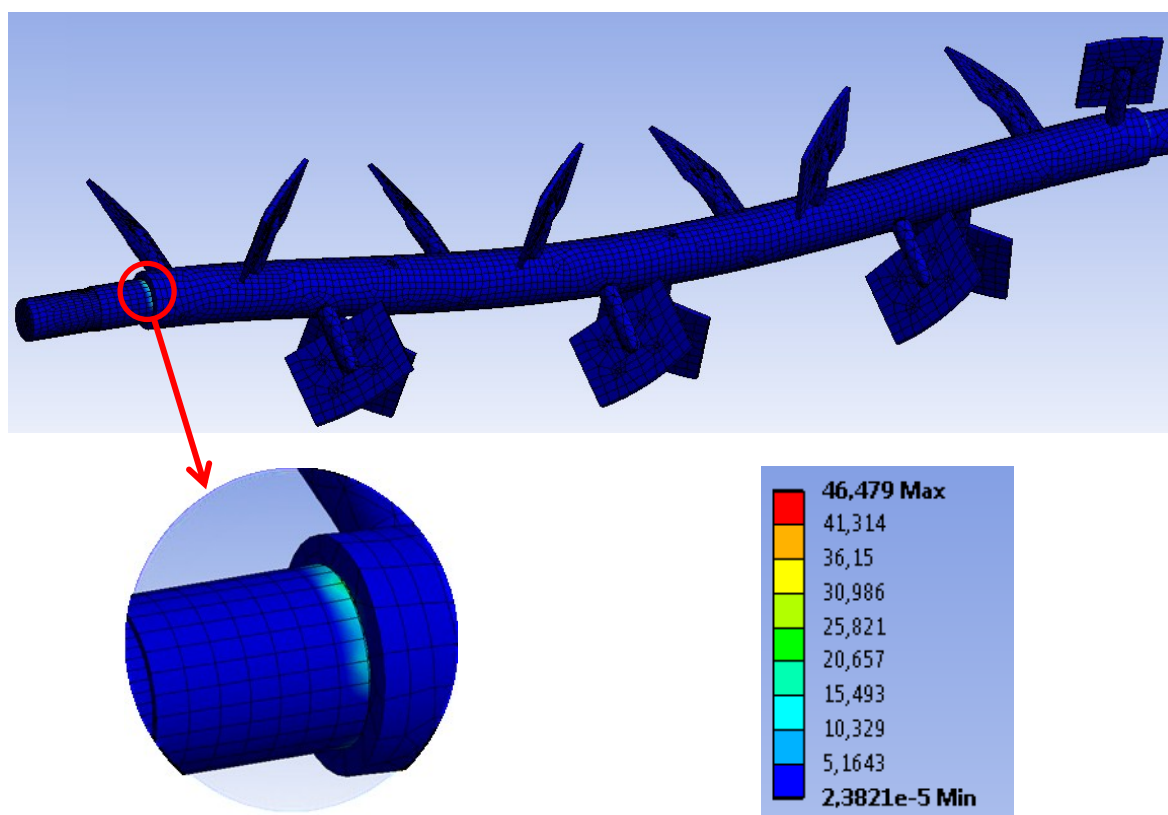
Posunutí:



Obr. 7.12 Analýza posunutí hřídele

Analýza posunutí zobrazuje průhyb, který dosahuje hodnot do 0,07 milimetrů. Na délce 2,9 metrů se jedná o zanedbatelnou hodnotu. Díky tomu hřídel zcela vyhovuje.

Redukované napětí HMM:



Obr. 7.13 Napětí HMM u hřídele

Analýza napětí HMM zobrazuje kritickou oblast v okolí uložení v ložiscích, kde napětí dosahuje hodnot 46,5 MPa. Hřídel je stejně jako lopatky vyrobena z korozivzdorné oceli o mezi kluzu $R_e = 470$ MPa. Hřídel také pevnostní analýze vyhovuje.

5.5.3 Pevnostní analýza podstavce míchačky

Rámová konstrukce podstavce je zatěžována hmotností míchačky včetně směsi. Hmotnost míchačky jsem určila v Autodesk Inventor 2014 a hmotnost směsi jsem spočetla z požadovaného průřezu vrstvy míchané směsi a délky žlabu.

Výpočet hmotnosti pro rámovou konstrukci:

$$V_s = S_m \cdot l$$

$$V_s = 0,144 \cdot 2,8$$

$$V_s = 0,4 \text{ m}^3$$

$l \dots$ délka míchačky [m]

$S_m \dots$ požadovaný průřez vrstvy směsi [m^2]

Výpočet hmotnosti směsi

Co se týče výpočtu hmotnosti směsi, zvolila jsem následující hodnoty:

$$m_s = V_s \cdot \rho_s$$

$$m_s = 0,4 \cdot 980$$

$$m_s = \underline{395,1 \text{ Kg}}$$

kde:

$\rho_s \dots$ střední hustota směsi [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$]

Hmotnost těla míchačky činí $m_m = 4360,3 \text{ kg}$

Výpočet celkové hmotnosti:

$$m_c = m_s + m_m$$

$$m_c = 395,1 + 4360,6$$

$$m_c = \underline{\underline{4755,7 \text{ kg}}}$$

kde:

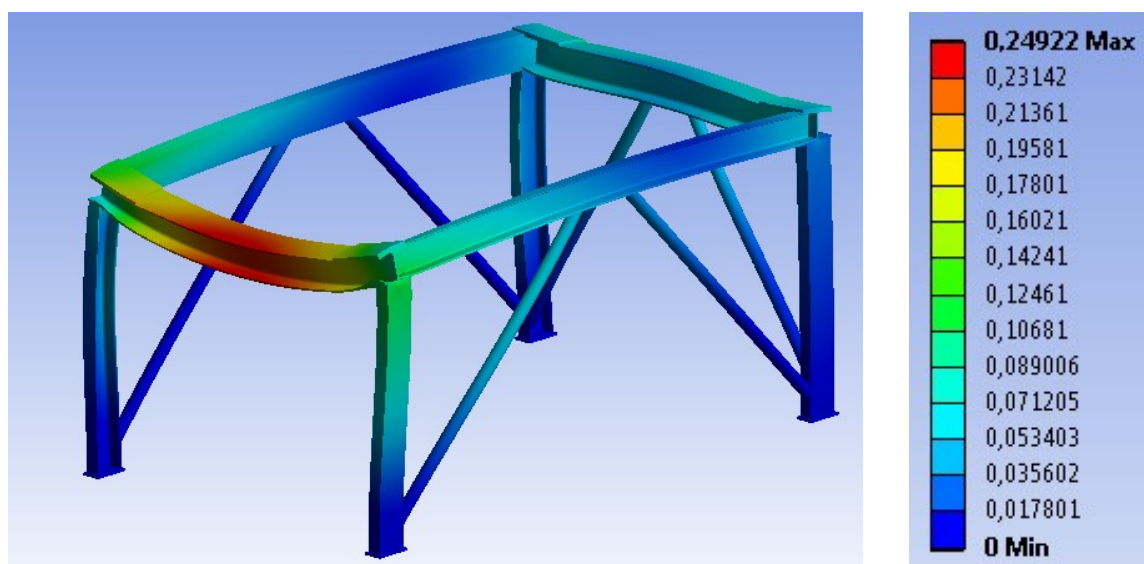
m_s ... hmotnost směsi [kg]

m_m ... hmotnost těla míchačky [kg]

Pro výpočet zatížení na ocelovou konstrukci rámu jsem uvažovala zatížení 5000 kg. Pro toto zatížení jsem provedla analýzu posunutí a redukované napětí podle hypotézy HMM.

Výsledky analýzy posunutí

Výsledky statické analýzy jsou zobrazeny na Obr. 7.14. Popisují velikost posunutí pod definovaným zatížením. Na obrázku je patrné, že posunutí v kritickém místě dosahuje hodnot 0,2 mm.

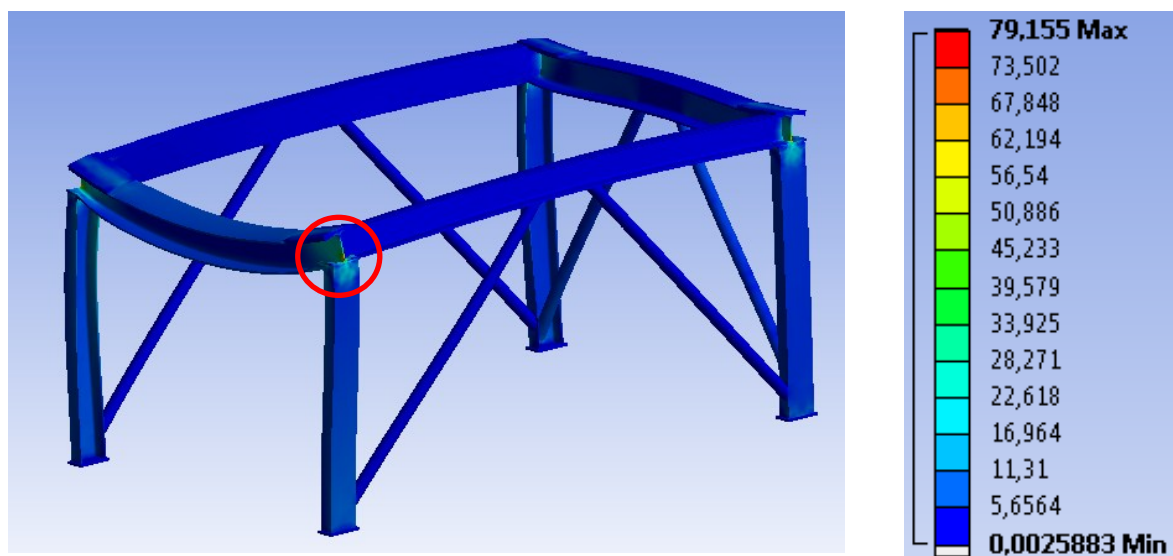


Obr. 7.14 Analýza posunutí rámu

Výsledky analýzy HMM

Z výsledků analýzy (viz. obr. 7.15) vyplývá, že největšího napětí je dosaženo v místech svaru horní části konstrukce.

Napětí dosahuje hodnoty 79 MPa, proto můžeme říci, že pevnostně výpočet vyhovuje.

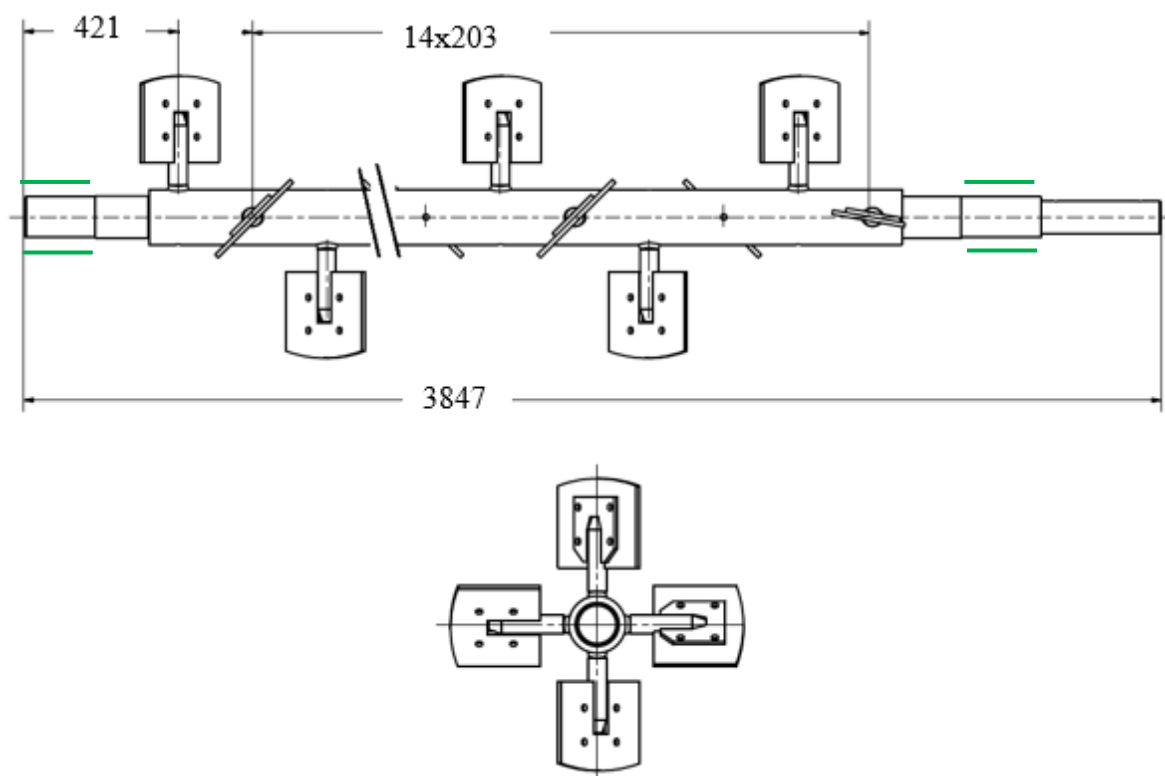


Obr. 7.15 HMM analýza ocelové konstrukce

6. HLAVNÍ ČÁSTI MÍCHACÍHO ZAŘÍZENÍ

6.1 Hřídel míchacího zařízení

V celém zařízení jsou dva duté hřídele, na nichž jsou umístěny lopatky, které slouží k homogenizaci a solidifikaci materiálu. Hřídel je navrhnutá jako dutá z důvodu snížení hmotnosti hřídelí a tím i celé sestavy. Hřídele jsou uloženy na vyznačených místech v ložiskových domcích SKF, které jsou připevněny na skříni míchačky.

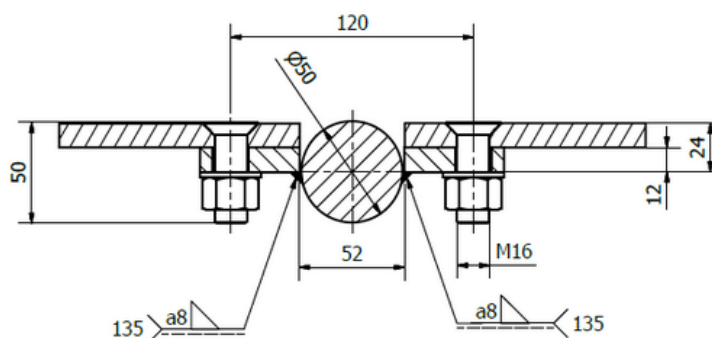


Obr. 8.1 Lopatková hřídel

Na hřídeli je přivařeno čtrnáct kusů lopatek, které jsou rozmístěny do šroubovice s roztečí 203 mm. Lopatky společně s celým hřídelem jsou vyrobeny z korozi-vzdorné oceli. Důležitým parametrem při sestavení lopatkové hřídele bylo nastavení naklopení jednotlivých lopatek, neboť výsledné promíchávání je na něm přímo závislé. Úhel naklopení lopatek jsem zvolila 45°.

Technical drawing of a mechanical part, likely a bracket or support, showing dimensions and tolerances. The drawing includes a top view and a side view. Key dimensions include: overall width 290, overall height 322, mounting hole diameter 16, and various internal dimensions and tolerances such as 150, 120 ± 0,2, 15, 19°, 27,5, 90 ± 0,2, 235,5, 102, 12, 13x45°, and R560. The drawing is labeled 'E' on both sides.

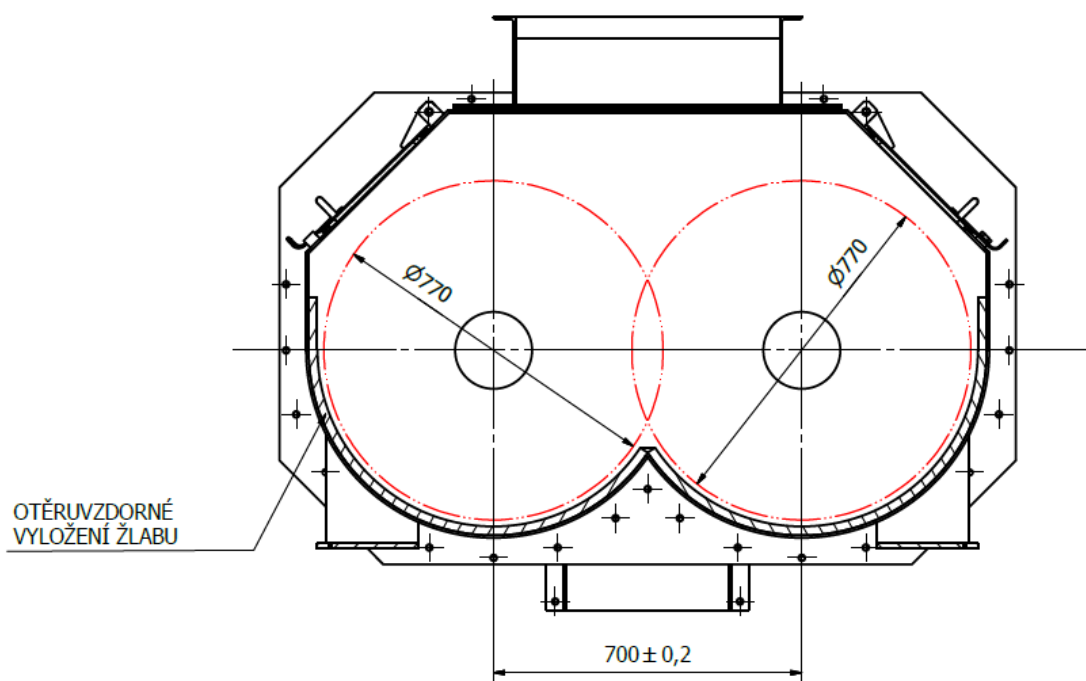
E-E (1:2)



Obr. 8.2 Detail lopatky

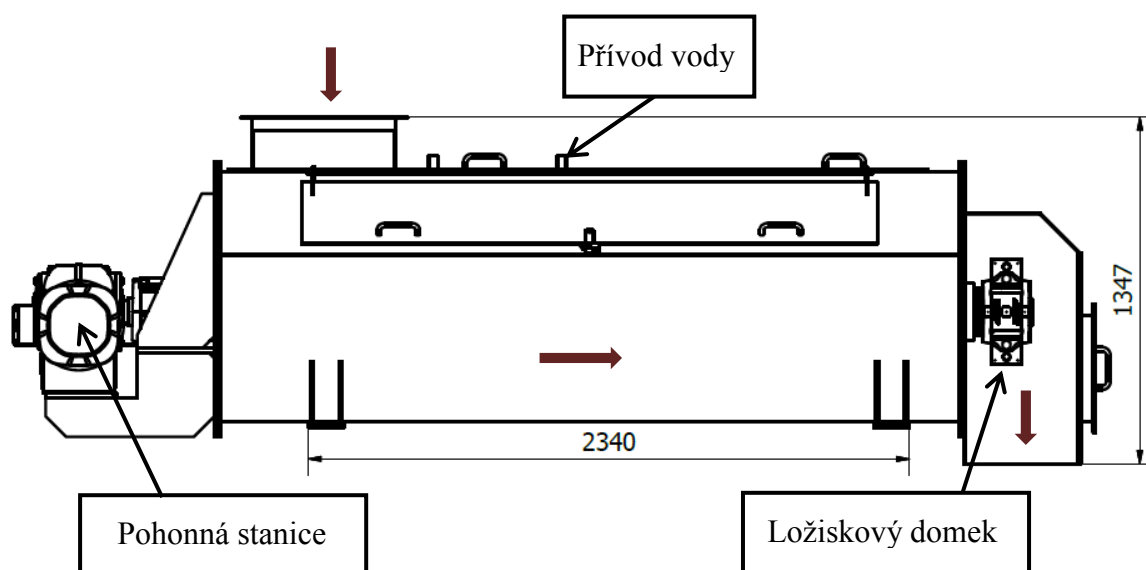
6.3 Skříň míchacího zařízení

Skříň míchacího zařízení se sestává z několika ohýbaných plechů, které jsou k sobě sešroubovány a přivařeny. Vnitřní část skříně je vyložena otěruvzdorným materiálem.



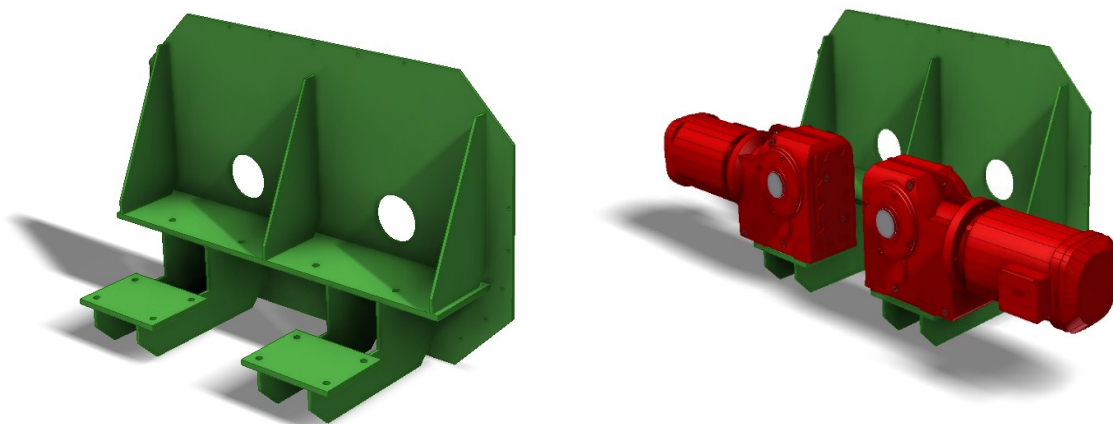
Obr. 8.3 Řez skříní míchačky

Na vnější straně skříně jsou připevněny podstavce pro uchycení motorů s převodovkou, hrdlo pro přívod směsi z násypky a výpuště usměrňující homogenizovanou směs na dopravník. Na obrázku je znázorněno ustavení ložiskových domků a pohonné stanice.



Obr. 8.4 Schéma skříně míchačky

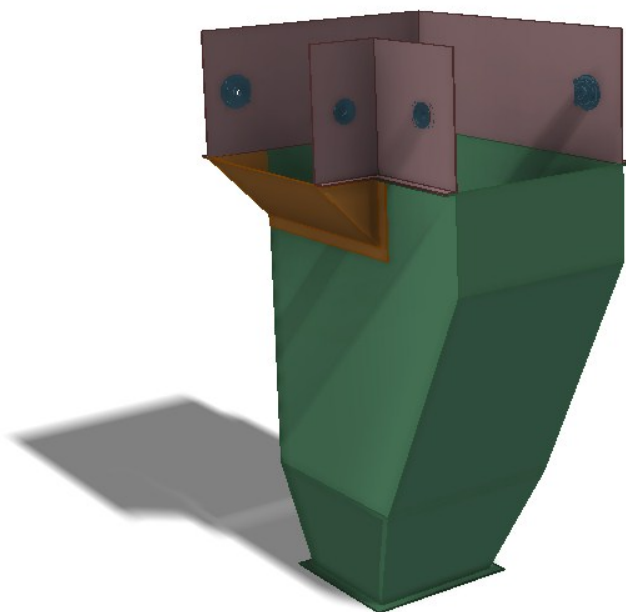
Pohonná stanice je ustavena na konstrukci, která je přivařena z čelní strany skříně. Podle typu motoru a ložiskových domků jsou na podstavci vytvořeny ustavovací otvory.



Obr. 8.5 Ustavení motoru na skříní

6.4 Násypka

Násypku bylo třeba navrhnout tak, aby umožňovala přísun dvou surovin současně. Navrhla jsem proto dělenou násypku sešroubovanou z plechových dílů, které jsou na obr. 8.6 barevně rozlišeny. Horní část násypky obsahuje ustavení dvou bubnů pásového dopravníku a spodní obsahuje hrdlo k napojení ke skříní míchacího zařízení. Jednotlivé díly jsou vyrobeny z plechu tloušťky 6 milimetrů a jsou svařeny do třech hlavních dílů.



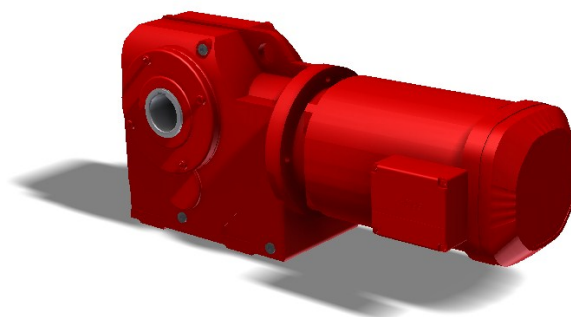
Obr. 8.6 Návrh násypky

6.5 Pohon

Pohony volíme dva. Jsou to třífázové asynchronní motory, od firmy SEW typu KA127DV180L4 s celkovým výkonem 22 kW a 1465 ot.min^{-1} . Tyto motory mají patentovaný dvoucívkový brzdový systém. Díky tomu je u těchto motorů dosahováno vysoké četnosti spínání a přesnosti polohování. To vše umožňuje velmi krátké odezvy.

Hlavní výhody těchto motorů jsou:

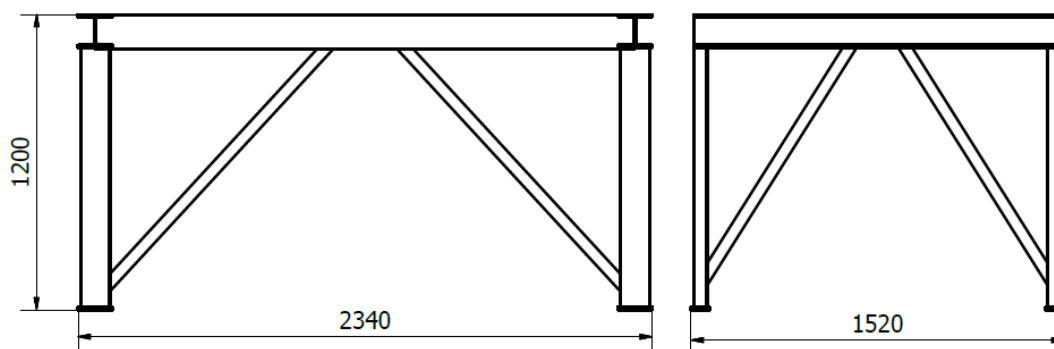
- minimální místo pro motor,
- mnohostranné a rozmanité provedení motoru,
- možnost kombinací motorů,
- nehučný provoz.



Obr. 8.7 Elektromotor

6.6 Rámová konstrukce pod míchačkou

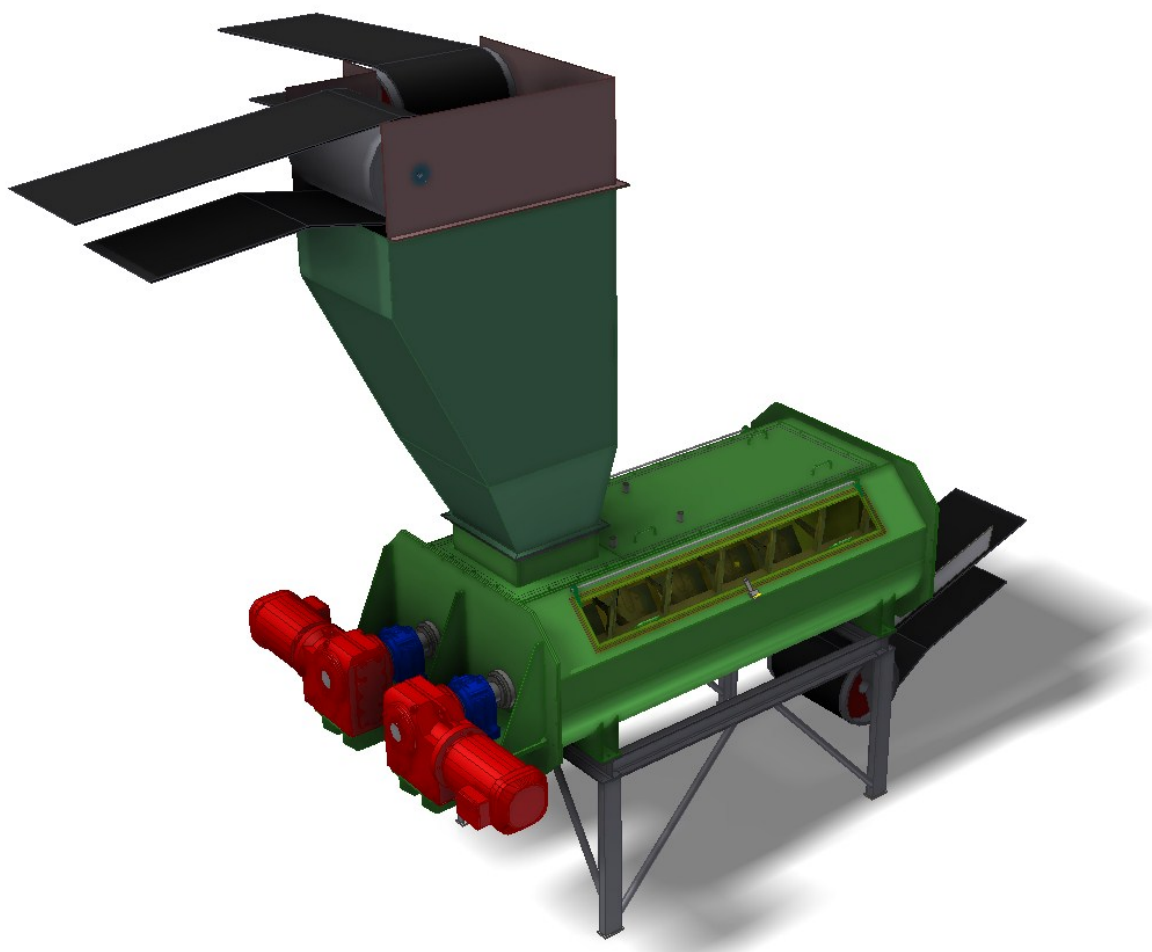
Zařízení míchačky je třeba ustavit na ocelovou konstrukci a zafixovat šrouby. Ocelová konstrukce byla pevnostně zkontrolována pro míchačku o hmotnosti 5 tun. Pro montáž je vhodné zajistit dostatečný prostor v okolí pro manipulaci s jednotlivými díly. Rámová konstrukce je svařena z oceli třídy 11 373.



Obr. 8.8 Rámová konstrukce pod míchačkou

6.7 Sestavení míchací linky

Po navržení všech jednotlivých dílů se sestaví v míchací linku. Na skříň míchačky se připevní navržená násypka a celý přístroj se pak ustaví na rámovou konstrukci.



Obr. 8.9 Sestava míchací linky

ZÁVĚR

V mé diplomové práci jsem se zabývala návrhem kontinuální dvouhřídelové lopatkové míchačky. Zařízení je uzpůsobeno k míchání, homogenizaci a solidifikaci směsi materiálů a zmíněné procesy jsou popsány v teoretické části práce. Co se týče informací o zpracovávaných materiálech, ty jsou taktéž popsány v úvodních kapitolách.

Při návrhu jsem vycházela z předpokladu, že zařízení bude pracovat se směsí kalů a vápna, což představuje proces solidifikace. Směs má za následek nejvyšší hodnotu odporů ze všech zpracovávaných materiálů při dopravě a míchání. Především proto bylo při kontrole pohonu a návrhu komponentů lopatkové míchačky vycházeno z jejich kritických parametrů.

Na základě výpočtů jsem navrhla parametry lopatkové hřídele a tvar lopatek. Tvar lopatek byl zvolen tak, aby docházelo k co nejlepšímu promíchávání směsi. Ověřila jsem podmínky funkčnosti mísiče a provedla pevnostní kontrolu pohyblivých částí stroje. Dále bylo nutné určit životnost zvolených ložisek a vypracovat pevnostní analýzu rámové konstrukce, lopatky a hnací hřídele.

Lopatkovou hřídel jsem navrhla jako dutou pro úsporu hmotnosti. Jednotlivé lopatky jsou k ní připevněny svarovým spojem s pevně stanoveným úhlem naklopení. Samotné lopatky byly navrženy jako dvoudílné a to především pro možnost jejich výměny při poškození.

Skříň míchačky je sestavena z plechových dílů, které jsou spolu sešroubovány, dno žlabu je vyloženo otěruvzdorným materiálem tak, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení dna skříně, na čelních plochách jsou přivařeny úchyty pohonu a ložiskových domků.

Násypku materiálu jsem navrhla pro přísun dvou materiálů současně. Obsahuje uložení dvou bubnů pásového dopravníku. Samotná konstrukce je navržena jako vícedílná pro snadnou montáž a výrobu. Jednotlivé díly jsou k sobě pak sešroubovány.

Po navržení všech dílů míchacího zařízení jsem vypracovala výrobní dokumentaci tak, aby mohlo být vše vyrobeno a posléze uvedeno do provozu.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat prof. Ing. Jiřímu Zegzulkovi, CSc za příkladné vedení této diplomové práce a především Ing. Petru Dospivovi, Ph.D. za cenné rady, odborné konzultace a velice vstřícný přístup při tvorbě této diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Homogenizace* [online]. 2005 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/homogenizace.html
- [2] Charakteristika čistírenských kalů. *Zpracování kalů* [online]. 2008 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/charakter.html>
- [3] Aerobní čištění. *Metalmind* [online]. 2012 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.metalmind.cz/uprava-a-cisteni-vody/cistirenstvi/komunalni-voda/aerobni-cisteni/>
- [4] BHS kontinuální míchačky LFK. *HAS.CZ* [online]. 2013 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.has.cz/produkty/michani-kondiciovani-aglomerace-granulovani/bhs-kontinualni-michacky-lfk/>
- [5] MESC - dvouhřídelové šnekové míchačky. *HAS.CZ* [online]. 2013 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.has.cz/produkty/michani-kondiciovani-drceni-granulovani/mesc-dvouhridelove-snekove-michacky/?q=mesc%20dvouhridelove%20snekove%20michacky>
- [6] WBN - šaržové žebrové míchačky. *HAS.CZ* [online]. 2013 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.has.cz/produkty/michani-kondiciovani-aglomerace-granulovani/wbn-sarzove-zebrove-michacky/>
- [7] WTS - šaržové dvouhřídelové lopatkové míchačky. *HAS.CZ* [online]. 2013 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.has.cz/produkty/michani-kondiciovani-aglomerace-granulovani/wts-sarzove-dvouhridelove-lopatkove-michacky>
- [8] WBH - šaržové jednohřídelové radlicové míchačky. *HAS.CZ* [online]. 2013 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.has.cz/produkty/michani-kondiciovani-aglomerace-granulovani/wbh-sarzove-jednohridelove-radlicove-michacky>
- [9] Míchačky s nuceným oběhem – řada M. *FilamoS* [online]. 2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.filamos.cz/stavebni-stroje/michacky/michacky-s-nucenym-obehem/>
- [10] BLATONŮVÁ, Zuzana. Vykládka a doprava biopaliva k technologiím ENET: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 48 s.
- [11] Popílek. *EBeton* [online]. 2010 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/popilek>
- [12] Popílek. *SÍLO Transport* [online]. 2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.silotransport.cz/popilek>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Zařízení pro solidifikaci materiálu [18].....	14
Obr. 1.2 Homogenizace [19].....	15
Obr. 2.1 Odběr přebytečného kalu [3]	18
Obr. 2.2 Popílek [12]	19
Obr. 2.3 Škvára [23]	20
Obr. 2.4 Vápno [24].....	20
Obr. 2.5 Biohmota [25].....	20
Obr. 3.1 Druhy šnekových dopravníků [21]	22
Obr. 4.1 Plochá šnekovnice [21].....	24
Obr. 4.2 Obvodová šnekovnice [21]	25
Obr. 4.3 Lopatková šnekovnice [21]	25
Obr. 4.4 Kuželová šnekovnice [21]	25
Obr. 4.5 Bezosá spirálová šnekovnice [21]	26
Obr. 5.1 Míchací zařízení [17].....	26
Obr. 5. 2 Míchací zařízení typu M 250 H.....	28
Obr. 5.3 Šneková míchačka	29
Obr. 5.4 Šaržová jednohřídelováradlicová míchačka	29
Obr. 5.5 Šaržová dvouhřídelová lopatková míchačka	30
Obr. 5.6 Šaržová žebrová míchačka	30
Obr. 5.7 Dvouhřídelová šneková míchačka.....	31
Obr. 5. 8 Kontinuální míchačka typu LFK	31
Obr. 7.2 Průřez toku materiálu.....	38
Obr. 7.3 Síla působící na lopatku.....	39
Obr. 7.4 Rovnováha sil na částici mezi lopatkami a korytem [22].....	42
Obr. 7.5 Lopatka	49
Obr. 7.5 Analýza diskretizovaného modelu.....	49
Obr. 7.6 Diskretizovaný model.....	50
Obr. 7.7 Výsledky analýzy posunutí na lopatce	50
Obr. 7.8 Napětí HMM na patě lopatky.....	51
Obr. 7.9 Lopatová hřídel.....	51
Obr. 7.10 Diskretizovaný model lopatkové hřídele	52
Obr. 7.11 Analýza diskretizovaného modelu	52

Obr. 7.12 Analýza posunutí hřídele	53
Obr. 7.13 Napětí HMH u hřídele	53
Obr. 7.14 Analýza posunutí rámu	55
Obr. 7.15 HMH analýza ocelové konstrukce.....	56
Obr. 8.1 Lopatková hřídel.....	57
Obr. 8.2 Detail lopatky	58
Obr. 8.3 Řez skříní míchačky	59
Obr. 8.4 Schéma skříně míchačky	59
Obr. 8.5 Ustavení motoru na skříní.....	60
Obr. 8.6 Návrh násypky	60
Obr. 8.7 Elektromotor	61
Obr. 8.8 Rámová konstrukce pod míchačkou	61
Obr. 8.9 Sestava míchací linky	62

PŘÍLOHY

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 1. Výkres sestavení | BLA-0022-0 SESTAVA LINKY |
| 2. Výkres sestavení | BLA-0022-1 MÍCHAČKA |
| 3. Výrobní výkres | BLA-0022-2 HŘÍDEL |